

# Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz

---

Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2016



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Raumentwicklung ARE**  
**Office fédéral du développement territorial ARE**  
**Ufficio federale dello sviluppo territoriale ARE**  
**Uffizi federal da svilup dal territori ARE**

**Herausgeber**

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

**Methodische Grundlage und Zahlen**

Infras, Ecoplan (2019), Externe Effekte des Verkehrs 2015. Aktualisierung der Berechnungen von Umwelt, Unfall- und Gesundheitseffekten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs 2010 bis 2015. Zürich / Bern, im Auftrag des ARE.

**Text**

Christina Hürzeler, Sektion Grundlagen ARE, Bern

**Grafiken**

Christine Sidler, Faktor Journalisten AG, Zürich

**Produktion**

Rudolf Menzi, Leiter Kommunikation ARE, Bern

**Zitierweise**

Bundesamt für Raumentwicklung (2019), Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz. Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2016.

**Bezugsquelle**

Elektronische Version unter [www.are.admin.ch](http://www.are.admin.ch). Auch französisch erhältlich.

Diese Publikation ersetzt die bisherige vom März 2019.

# Inhalt

<b>Welche Folgekosten verursacht die Mobilität? .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Externe Effekte und ihre Relevanz .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Die wichtigsten Resultate in Kürze .....</b>	<b>7</b>
2.1. Vom Verkehr verursachte Schäden .....	7
2.2. Gesamte externe Kosten und Nutzen .....	8
2.3. Externe Kosten und Nutzen pro Kilometer .....	10
2.4. Veränderung der externen Kosten und Nutzen .....	13
2.5. Sicht Verkehrsart: Schwerverkehr .....	16
2.6. Sicht Verkehrsteilnehmende .....	17
<b>3. Detailauswertung nach Schadens- und Nutzenkategorie .....</b>	<b>18</b>
3.1. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung .....	18
3.2. Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung .....	19
3.3. Weitere durch Luftverschmutzung verursachte Kosten .....	20
3.4. Lärm .....	23
3.5. Klima .....	24
3.6. Natur und Landschaft .....	26
3.7. Vor- und nachgelagerte Prozesse .....	27
3.8. Unfälle .....	28
3.9. Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr .....	29
3.10. Weitere Kosten .....	30
<b>4. Methodik .....</b>	<b>32</b>
4.1. Abgrenzungen .....	32
4.2. Grundsätze der Berechnungen .....	33
4.3. Bewertungsmethoden .....	34
4.4. Internalisierungsbeiträge .....	35
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>36</b>

## Welche Folgekosten verursacht die Mobilität?

Ein gut funktionierendes Verkehrssystem ist für unsere Gesellschaft unabdingbar. Es ermöglicht den Austausch von Waren und Dienstleistungen sowie die Personenmobilität. Dadurch entstehen für unsere Gesellschaft grosse Nutzen. Aber was kostet uns diese Mobilität?

Während der Nutzen grösstenteils direkt bei den Verkehrsteilnehmenden anfällt, wird ein beträchtlicher Teil der Kosten dieses Gesamtsystems und seinen Auswirkungen nicht von den Verursacherinnen und Verursachern selbst getragen. Diese Broschüre widmet sich diesem Teil der Kosten, der in den Bereichen Umwelt, Unfälle und Gesundheit anfällt und von Dritten, der Allgemeinheit oder zukünftigen Generationen bezahlt wird, den sogenannten externen Kosten. Da wir diese Kosten nicht selber tragen, sind wir weiter und häufiger unterwegs, als wenn wir den vollen Preis selber bezahlen müssten.

Im Jahr 2016 betrugen die externen Kosten der Mobilität in der Schweiz rund 13.3 Milliarden Franken und wurden insbesondere durch Luftverschmutzung, Lärm, CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Unfälle verursacht. Ein Grossteil der externen Kosten entsteht durch den privaten motorisierten Strassenverkehr. Externe Nutzen der Mobilität, die durch das zu Fuss gehen und Velo fahren entstehen, werden ebenfalls ausgewiesen. Diese Aktivitäten generieren, neben dem persönlichen Nutzen für die zu Fussgehenden und Velofahrenden selber, einen beträchtlichen Gesundheitsnutzen für die Allgemeinheit. 2016 übertrifft dieser die externen Kosten bei den zu Fussgehenden um 489 Millionen Franken. Würden sie für den Nutzen entschädigt, den sie der Allgemeinheit stiften, gäbe dies einen Anreiz, häufiger und damit in einem volkswirtschaftlich optimalen Ausmass zu Fuss zu gehen.

Ein Beispiel für die Berücksichtigung respektive teilweise Internalisierung von externen Kosten ist die 2001 eingeführte leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), bei deren Festsetzung auch die externen Kosten einbezogen werden. Die LSVA hat wesentlich zur Effizienzsteigerung und Verlagerung des Schwerverkehrs beigetragen. Es liegt im Interesse einer nachhaltigeren Entwicklung der Schweiz, dass die Nutzerinnen und Nutzer aller Mobilitätsangebote die von ihnen verursachten Kosten vermehrt selber tragen.



Dr. Ulrich Seewer  
Vizedirektor, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)

Es liegt im Interesse einer nachhaltigen Entwicklung der Schweiz, dass die Nutzerinnen und Nutzer aller Mobilitätsangebote die von ihnen verursachten Kosten vermehrt selber tragen.

# 1. Externe Effekte und ihre Relevanz

Das Vorliegen von externen Effekten bedeutet, dass das Verursacherprinzip nicht ausreichend umgesetzt wird und Fehlanreize bestehen.

Mobilität verursacht eine Reihe von Kosten und Nutzen. Ein Teil davon ist für die Verkehrsteilnehmenden direkt spürbar: die Kosten für Benzin oder Zugbillet, oder der Nutzen, mit dem Auto oder Zug bequem an seinen Arbeitsort zu gelangen. Mit der Bezahlung von Benzin oder Zugbillet übernimmt der Verkehrsteilnehmende einen Teil der von ihm verursachten Kosten. Durch das Tanken wird zum Beispiel die Mineralölsteuer entrichtet; die daraus erzielten Einnahmen werden teilweise für Unterhalt, Betrieb und Bau von Strassen verwendet. Auch das Zugbillet ist ein Beitrag an die Schieneninfrastruktur oder ans Rollmaterial. Diese direkt bezahlten Kosten werden als interne oder private Kosten bezeichnet.

Daneben gibt es Kosten, die zwar durch die Mobilität verursacht werden, sich aber nicht im Preis für die Mobilität niederschlagen. Verkehrslärm beispielsweise beeinträchtigt die Lebensqualität und die Gesundheit von Menschen, die in der Nähe von Schienen, Strassen oder Flughäfen wohnen. Dies hat Kosten zur Folge, die unter anderem in Form von Krankheiten und Spitalaufenthalten anfallen. Weiter verursachen die Verkehrsunfälle beträchtliche Ausgaben in Form von Heilungskosten oder Produktionsausfällen. Diese Kosten werden als extern bezeichnet, da die Verkehrsteilnehmenden dafür nicht bezahlen.

Das Vorliegen von externen Kosten bedeutet, dass das Verursacherprinzip nicht ausreichend umgesetzt ist und aus volkswirtschaftlicher Sicht ein Marktversagen vorliegt. Durch den zu tiefen Preis entsteht ein Anreiz, längere und häufigere Fahrten zu unternehmen als dies bei voller Umsetzung des Verursacherprinzips der Fall wäre. Das ist volkswirtschaftlich nicht sinnvoll und trägt zu einer Verschwendung von Ressourcen bei. Beträchtliche Summen werden der Allgemeinheit aufgebürdet und sind für die Verkehrsteilnehmenden nicht im Preis der Mobilität spürbar.



**Interne Kosten**  
fallen direkt beim Verkehrsteilnehmenden an und beeinflussen das Mobilitätsverhalten.



**Externe Kosten**  
fallen nicht direkt bei den Verkehrsteilnehmenden an, sondern bei der Allgemeinheit oder zukünftigen Generationen, und haben keinen Einfluss auf das Mobilitätsverhalten.

© ARE

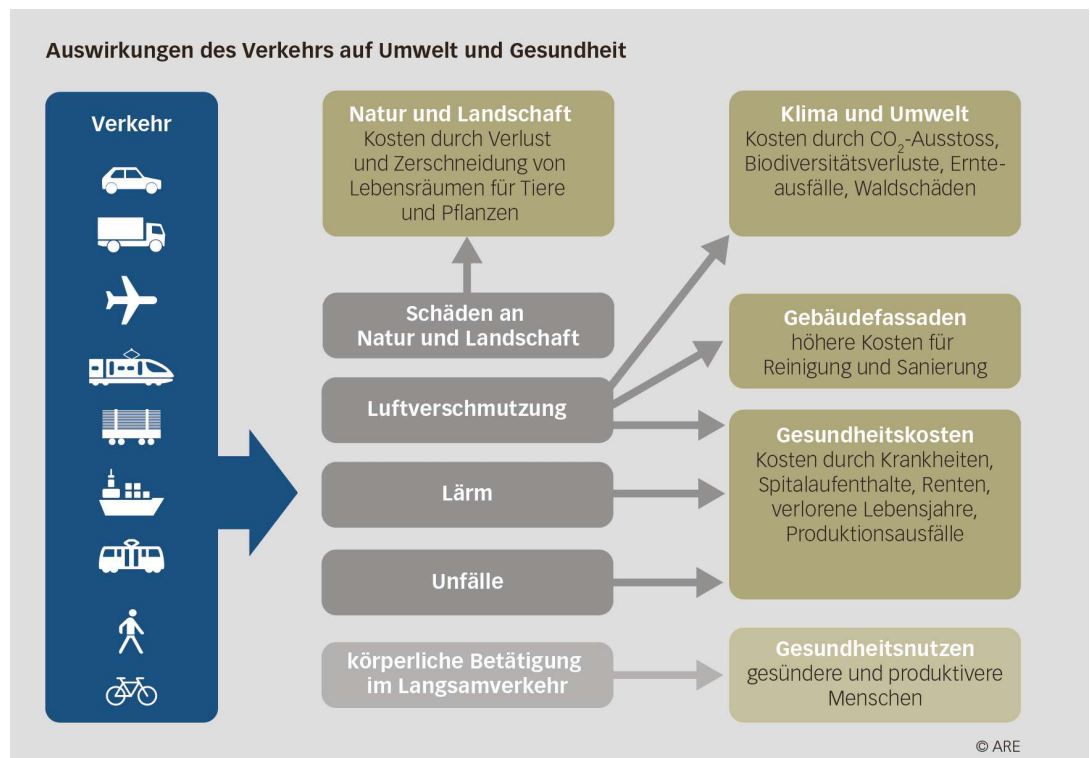


Abbildung 1

Damit in einer Volkswirtschaft die Ressourcen optimal eingesetzt werden, sollten die externen Kosten und Nutzen internalisiert werden. Das heisst, sie sind denjenigen anzulasten beziehungsweise gutzuschreiben, die sie verursachen.

Mobilität verursacht auch externe Nutzen. Beim Langsamverkehr wird durch körperliche Betätigung ein Gesundheitsnutzen erzeugt, welcher einerseits bei der Velofahren respektive zu Fuss gehenden Person selber anfällt und somit als interner Nutzen anzusehen ist. Aber die Bewegung im Langsamverkehr hat auch positive Effekte für die ganze Gesellschaft: weniger Krankheitsfälle und dadurch produktivere Mitarbeitende sowie weniger Kosten im Gesundheitswesen und bei den Sozialversicherungen. Dieser Teil der Nutzen ist extern, weil er der Allgemeinheit zu Gute kommt und nicht den zu Fussgehenden respektive den Velofahrenden.

Für externe Nettonutzen sollten die Nutzenstiftenden entschädigt werden. Im Falle der externen Gesundheitsnutzen des Fussverkehrs würde eine Entschädigung einen Anreiz bieten, dass die Menschen (auf den dafür geeigneten Distanzen) mehr zu Fuss unterwegs wären. Dies wäre aus volkswirtschaftlicher Sicht wünschenswert.

Damit in einer Volkswirtschaft die Ressourcen optimal eingesetzt werden, sollten die externen Kosten und Nutzen internalisiert werden. Das heisst, sie sind denjenigen anzulasten beziehungsweise gutzuschreiben, die sie verursachen.

### Einbettung und Ausblick

Die Berechnungen der externen Kosten und Nutzen bilden eine wichtige Informationsgrundlage in der Diskussion über eine nachhaltige Mobilität. Sie fliessen in die Publikation «Kosten und Finanzierung des Verkehrs (KFV)» des Bundesamts für Statistik (BFS) ein, in welcher interne und externe Kosten umfassend dargestellt werden. Dort wird ersichtlich, welche Anteile der *Gesamtkosten* von den Verkehrsnutzenden respektive der Allgemeinheit übernommen werden, und wie hoch die Finanzierungsbeiträge aus den allgemeinen Budgetmitteln von Bund, Kantonen und Gemeinden ausfallen.

Die externen Kosten spielen auch im Kontext der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) eine wichtige Rolle. Gemäss des entsprechenden Bundesgesetzes<sup>1</sup> bezweckt die LSVA eine langfristige Deckung der Infrastrukturkosten sowie der externen Kosten, die der Allgemeinheit durch den Schwerverkehr entstehen. Dazu müssen die externen Kosten beziffert werden. Zudem fordert das Schwerverkehrsabgabengesetz, dass die Berechnungen der externen Effekte dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechen. Deshalb werden die verwendeten Methoden und Datengrundlagen regelmässig aktualisiert und – wenn nötig – angepasst.

<sup>1</sup> Schwerverkehrsabgabengesetz (SVAG)

Eine solche Überarbeitung wurde von den Beratungsbüros Infras und Ecoplan im Auftrag des ARE durchgeführt und von bundesinternen Gremien begleitet.<sup>2</sup> Die vorliegende Publikation basiert auf dieser methodischen Grundlage. Detailliertere Resultate zu den einzelnen Verkehrsträgern und Schadenskategorien sind zudem in Form von Excel-Tabellen auf der Internetseite des ARE unter «Kosten und Nutzen des Verkehrs» aufgeschaltet. Die Berechnungen zu den externen Kosten und Nutzen werden jährlich um ein weiteres Jahr ergänzt.

<sup>2</sup> Infras, Ecoplan (2019), siehe Seite 2.

Das Kapitel 2 dieser Broschüre enthält einen Überblick über die wichtigsten Resultate des Jahres 2016 und der Veränderungen zwischen 2010 und 2016. Einzelheiten zu den Schadens- und Nutzenbereichen sind in Kapitel 3 dargestellt. Details zur verwendeten Methodik können dem Kapitel 4 entnommen werden.

## 2. Die wichtigsten Resultate in Kürze

### 2.1. Vom Verkehr verursachte Schäden

Die vom Verkehr  
verursachten  
Schäden  
beeinträchtigen  
insbesondere die  
menschliche  
Gesundheit und die  
Umwelt.

Um die externen Kosten der Mobilität zu berechnen, müssen in einem ersten Schritt die vom Verkehr verursachten Schäden quantifiziert werden. Sie betreffen insbesondere die menschliche Gesundheit und die Umwelt.

Bei der Ermittlung der Schäden sind verschiedenste wissenschaftliche Disziplinen involviert: aus medizinischen Studien beispielsweise ist bekannt, wie Abgase und Lärm auf die menschliche Gesundheit einwirken. Daraus werden Art und Intensität der vom Verkehr ausgelösten Krankheiten ermittelt. Umweltwissenschaftliche Expertise ist gefragt, um die negativen Folgen von Schadstoffen oder Verkehrsinfrastrukturen auf die Tier- und Pflanzenarten zu quantifizieren.

In den vorliegenden Berechnungen werden auch Schäden berücksichtigt, denen keine direkten Geldflüsse zu Grunde liegen. Sie bestehen beispielsweise im Verlust von Lebensräumen für Tier- und Pflanzenarten. Aber auch im Leid von Betroffenen und Angehörigen infolge von Tod oder Invalidität nach einem Verkehrsunfall, oder im Verlust an Lebensqualität, wenn eine Person unter chronischer Bronchitis leidet, welche durch Luftverschmutzung verursacht wurde. Dieses Leid respektive diese Schäden ziehen sogenannte immaterielle Kosten nach sich, deren Geldwert nicht anhand von Marktpreisen beobachtet werden kann. Welche Methoden verwendet werden, damit diese Schäden trotzdem in Geldwerten ausgedrückt werden können, ist im Kasten 3 «Immaterielle Kosten und Value of Statistical Life (VOSL)» (Seite 34) dargelegt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt an einigen Beispielen, welche Schäden durch die Luftverschmutzung und den Lärm des Verkehrs im Jahr 2016 verursacht wurden. Sie sind in die Berechnungen der externen Kosten des Verkehrs eingeflossen.



Abbildung 2

## 2.2. Gesamte externe Kosten und Nutzen

81 Prozent der externen Kosten wird durch den Personenverkehr, 19 Prozent durch des Güterverkehr verursacht.

Insgesamt belaufen sich die externen Kosten des Schweizer Verkehrssystems im Jahr 2016 auf 13.3 Mrd. Fr. Der Strassenverkehr verursachte mit 81 % beziehungsweise 10.7 Mrd. Fr. den Grossteil dieser Kosten. Davon sind 9.4 Mrd. Fr. (71 %) dem privaten motorisierten Verkehr, 1.1 Mrd. Fr. (8 %) dem Langsamverkehr und 0.3 Mrd. Fr. (2 %) dem öffentlichen Strassenverkehr anzulasten. Der Luftverkehr hat mit 1.3 Mrd. Fr. einen Anteil von 10 % an den gesamten externen Verkehrskosten. Der Schienenverkehr ist für Kosten in der Höhe von 1.1 Mrd. Fr. (8 %) verantwortlich, während für den Schiffsverkehr externe Kosten von 93 Mio. Fr. (knapp ein Prozent) ausgewiesen werden. 81 % der externen Kosten wird durch den Personenverkehr, 19 % durch den Güterverkehr verursacht. Der Strassenschwerverkehr kommt für einen Teil seiner externen Kosten durch die Bezahlung der LSVA selber auf, das heisst er hat einen Teil seiner externen Kosten internalisiert. Konkret wurden dem Schwerverkehr 483 Mio. Fr. von den LSVA-Einnahmen als Internalisierung der externen Kosten angerechnet<sup>3</sup>, das heisst dieser Betrag wurde von seinen externen Kosten abgezogen.

<sup>3</sup> Berechnung: LSVA-Einnahmen von 1454 Mio. Fr. minus Kantonsanteil für Strassenzwecke von 505 Mio. Fr. minus vom Schwerverkehr verursachte Stauzeitkosten von 466 Mio. Fr. ergibt 483 Mio. Fr.

Im Langsamverkehr wurden 2016 neben den erwähnten 1.1 Mrd. Franken an externen Kosten, bei welchen es sich vor allem um selbstverursachte Unfallkosten handelt, externe Gesundheitsnutzen von 1.4 Mrd. Fr. generiert. Der Nutzenüberschuss fällt dank des Fussverkehrs an, denn hier stehen externen Kosten von gut 425 Mio. Fr. externe Gesundheitsnutzen von 915 Mio. Fr. gegenüber, der Überschuss an externen Nutzen beträgt somit knapp 490 Mio. Fr. Beim Veloverkehr belaufen sich die externen Kosten auf 575 Mio. Fr., die externen Gesundheitsnutzen betragen knapp 465 Mio. Fr., damit überwiegen die externen Kosten um 110 Mio. Fr. Durch die Mobilität mit fahrzeugähnlichen Geräten (fäG; beispielsweise Inline-Skates, Skateboards, Trottinette) entstehen gut 70 Mio. Fr. externe Kosten. Der Gesundheitsnutzen der fahrzeugähnlichen Geräte konnte nicht quantifiziert werden.

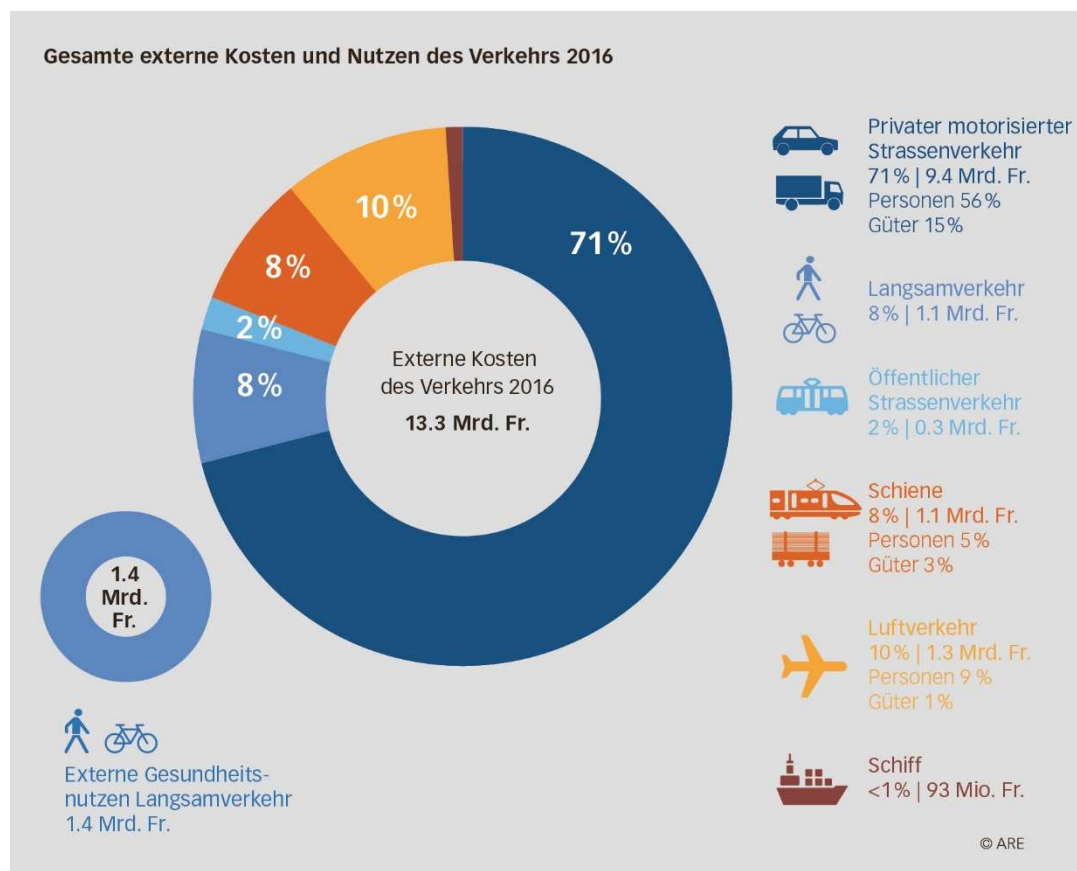


Abbildung 3

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10; Berechnung gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15.



Beim Vergleich dieser absoluten Zahlen ist zu beachten, dass die Verkehrsleistungen, die mit den verschiedenen Verkehrsmitteln erbracht werden, sehr unterschiedlich sind. Insbesondere mit dem Personenwagen werden deutlich mehr Personen transportiert als mit anderen Verkehrsmitteln.

Die höchsten externen Kosten fallen in den Schadenskategorien Luftverschmutzung, Lärm, Klima und Unfälle mit je 4.0 bis 1.7 Mrd. Fr. an. Durch vor- und nachgelagerte Prozesse sowie in der Kategorie Natur und Landschaft entstanden weitere Kosten von 1.4 respektive 1.2 Mrd. Fr. Die weiteren Schadenskategorien summieren sich auf gut 270 Mio. Fr.

Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs 2016 in Mio. Fr.							
	Strasse			Schiene	Luftverkehr	Schiff	Total
	Priv. mot. PV u. GV	LV	ÖPV				
Personenverkehr	7448	1074	270	610	1242	38	10 682
Güterverkehr	1958			465	99	55	2576
<b>Total</b>	<b>10 749</b>			<b>1075</b>	<b>1341</b>	<b>93</b>	<b>13 258</b>
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr (Personenverkehr)		1379					1379

Tabelle 1

©ARE

Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs 2016 nach Schadens- und Nutzenkategorien in Mio. Fr.							
	Strasse			Schiene	Luftverkehr	Schiff	Total
	Priv. mot. PV u. GV	LV	ÖPV				
Luftverschmutzung	3299	–	127	405	48	72	3950
Lärm	2078	–	55	408	127	–	2667
Klima	1574	–	36	3	983	12	2610
Natur und Landschaft	992	30	14	129	7	5	1177
Vor- und nachgelagerte Prozesse	1039	61	24	63	174	3	1364
Unfälle	706	983	6	2	1	<1	1698
Weitere	199	–	8	66	–	–	274
Abzug LSVA-Anteil	–483						–483
<b>Total</b>	<b>9405</b>	<b>1074</b>	<b>270</b>	<b>1075</b>	<b>1341</b>	<b>93</b>	<b>13 258</b>
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr (Personenverkehr)		1379					1379

Tabelle 2

©ARE

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10;

Berechnung gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15;

Priv. mot. PV und GV: privater motorisierter Personen- und Güterverkehr; LV: Langsamverkehr; ÖPV: Öffentlicher Personenverkehr;

Rundungsdifferenzen in den Totalen sind möglich.

### Räumliche Abgrenzung

Die Berechnung der externen Effekte erfolgt beim Strassen- und Schienenverkehr grundsätzlich gemäss dem **Territorialprinzip**. Das heisst, es werden diejenigen Schäden berücksichtigt, die vom **Verkehr, welcher innerhalb der Schweizer Grenzen zirkuliert**, verursacht werden. Dies gilt unabhängig davon, ob diese Schäden innerhalb oder ausserhalb der Schweiz anfallen. Der Grossteil der Schäden und damit der Kosten fällt innerhalb der Schweiz an, wie beispielsweise die Lärmkosten. Ein Beispiel für Schäden, die ausserhalb der Schweiz anfallen, sind die Klimakosten: Die berechneten Kosten basieren auf den Treibhausgasemissionen, die der in der Schweiz zirkulierende Verkehr ausgestossen hat, die Schäden der Klimaerwärmung sind jedoch ein globales Phänomen.

Im Luft- und Schiffsverkehr wird das sogenannte **Halbstreckenprinzip** angewendet, da dies den Eigenheiten der Verkehrsträger, welche internationales Territorium (insbesondere Ozeane) überqueren, besser gerecht wird. Das Halbstreckenprinzip erfasst **alle zurückgelegten Strecken ab der Schweiz bis zur Hälfte der Strecke zum ausländischen Ziel und ab der Hälfte der Strecke vom ausländischen Ausgangspunkt bis in die Schweiz**. Bei Flügen oder Schifffahrten, die innerhalb der Schweiz stattfinden, wird die gesamte Strecke berücksichtigt.

Würden alle Länder eine Rechnung für den Luft- und Schiffsverkehr gemäss dem so definierten Halbstreckenprinzip erstellen, wären alle Strecken vollständig abgedeckt, also auch diejenigen über Drittländern, respektive auf den Ozeanen oder anderen internationalen Gewässern.

#### Kasten 1

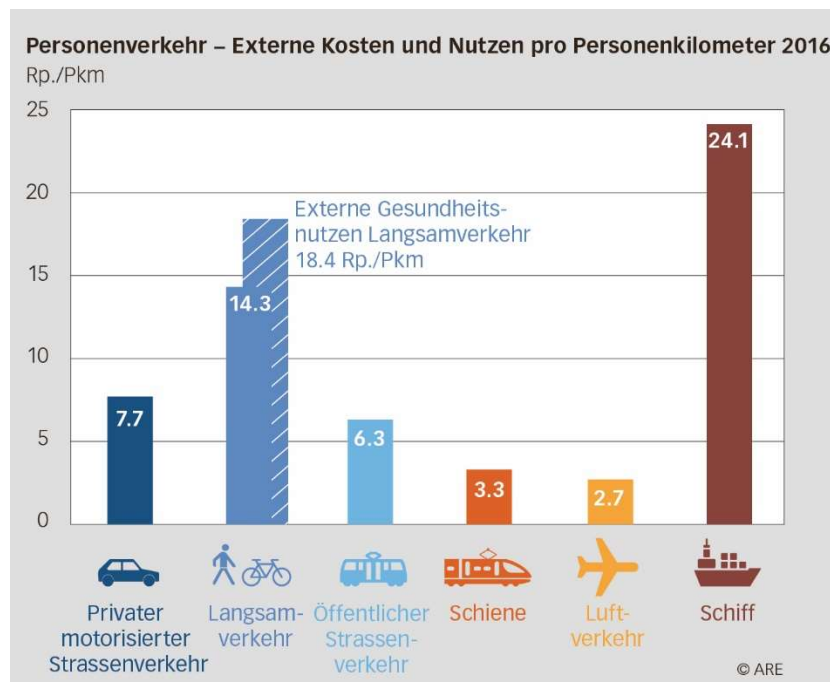
### 2.3. Externe Kosten und Nutzen pro Kilometer

Werden die gesamten externen Kosten der Verkehrsträger auf ihre in einem Jahr erbrachten Verkehrsleistungen bezogen, so ergeben sich für den Personenverkehr die externen Kosten pro Personenkilometer (Pkm), für den Güterverkehr die externen Kosten pro Tonnenkilometer (tkm). Diese sagen aus, wie hoch die durchschnittlichen externen Kosten für den Transport einer Person, respektive einer Tonne eines Gutes über einen Kilometer sind.

#### Personenverkehr

Im Personenverkehr verursachte der motorisierte Privatverkehr auf der Strasse 2016 externe Kosten von 7.7 Rp. pro Pkm, der öffentliche Strassenverkehr 6.3 Rp. pro Pkm. Der Kostensatz des Schienenverkehrs liegt bei 3.3 Rp. pro Pkm, derjenige des Luftverkehrs bei 2.7 Rp. pro Pkm. Der Schiffsverkehr verursachte 24.1 Rp. pro Pkm, dies auf Grund des relativ hohen Ausstosses an Luftschadstoffen und Klimagasen bei vergleichsweise geringer Anzahl zurückgelegter Personenkilometer. Dem Langsamverkehr sind externe Kosten von 14.3 Rp. pro Pkm anzurechnen (vor allem selbst verursachte Unfallkosten), die mit externen Gesundheitsnutzen von 18.4 Rp. pro Pkm überkompensiert werden. Wieder wird bei differenzierter Betrachtung des Langsamverkehrs klar, dass der Fussverkehr den grösseren Teil des externen Nutzens erzeugt, netto resultiert pro Personenkilometer ein externer Nutzen des Fussverkehrs von knapp 10 Rp. Beim Veloverkehr sind die externen Kosten höher als die externen Nutzen, netto ergeben sich Kosten von 4.5 Rp. pro Personenkilometer.

Im Personenverkehr betragen die durchschnittlichen externen Kosten des motorisierten Strassenverkehrs sowie des Schienen- und Luftverkehrs zwischen knapp 3 und 8 Rappen pro Personenkilometer.



**Abbildung 4**

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10;

Berechnung gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15.

Die hier dargestellten Kostensätze pro Personenkilometer sind nur bedingt miteinander vergleichbar. Für einen aussagekräftigeren Vergleich müssen ähnliche Strecken verglichen werden, zum Beispiel eine Strecke innerhalb des städtischen Raums (Vergleich von privatem motorisiertem Strassenverkehr, Langsamverkehr, öffentlicher Strassenverkehr) oder eine Strecke wie Genf – Lugano (Vergleich von motorisiertem Strassenverkehr, Schiene, Luft). Dabei würden die effektiven Kostensätze je nach betrachteter Strecke von den hier ausgewiesenen durchschnittlichen Kostensätzen abweichen: bei langen Strecken in wenig besiedeltem Gebiet (respektive im Luftraum) sind die Kosten tiefer.

Zudem gilt, dass sich grosse Verkehrsmittel (Bus, Flugzeug, Bahn) sowie ein hoher Auslastungsgrad des Verkehrsmittels dämpfend auf die Kosten pro Personen- respektive Tonnenkilometer auswirken. Insbesondere beim öffentlichen Verkehr auf Strasse und Schiene ist zu beachten, dass hier aufgrund der Anforderungen an den Service Public auch weniger gut ausgelastete Strecken betrieben werden und der durchschnittliche Auslastungsgrad dadurch tiefer ist.

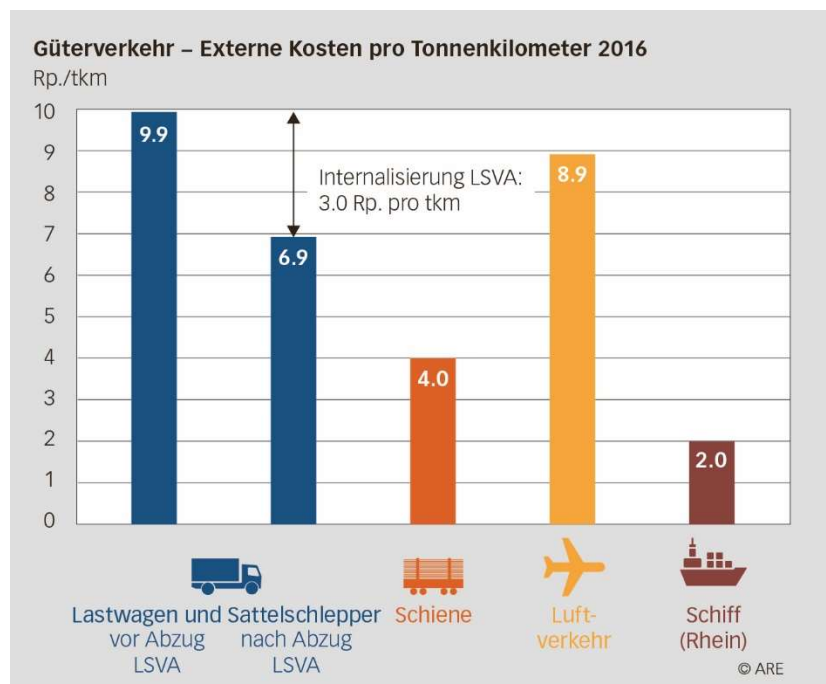
Ferner ist zu beachten, dass die Substituierbarkeit zwischen den einzelnen Verkehrsträgern eingeschränkt ist und sich die verschiedenen Mobilitätsarten teilweise gegenseitig ergänzen, wie beispielsweise der Fussverkehr und der öffentliche Verkehr.

Im Güterverkehr betragen die durchschnittlichen externen Kosten des Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehrs zwischen 2 und 9 Rappen pro Tonnenkilometer.

### Güterverkehr

Beim Güterverkehr verursacht der Schwerverkehr auf der Strasse, das heisst die Lastwagen und Sattelschlepper, im Jahr 2016 Kosten von 9.9 Rp. pro tkm, davon werden durch die LSVa 3.0 Rp. pro tkm internalisiert. Es resultieren externe Kosten von 6.9 Rp. pro tkm. Die externen Kosten des Schienengüterverkehrs belaufen sich auf 4.0 Rp. pro tkm. Im Luftverkehr resultieren externe Kosten von 8.9 Rp. pro tkm und im Schiffsverkehr auf dem Rhein 2.0 Rp. pro tkm.

Wie beim Personenverkehr ist auch beim Güterverkehr beim direkten Vergleich der Kosten pro Tonnenkilometer Vorsicht geboten. Die ausgewiesenen Beträge sind Durchschnittswerte über die unterschiedlich dicht besiedelten Gebiete der Schweiz. Innerorts sind die Kosten pro Kilometer in gewissen Schadenskategorien höher, da mehr Menschen und Gebäude betroffen sind. Zu beachten ist auch, dass im Güterverkehr der Wert der Güter pro Tonne sehr unterschiedlich ist (zum Beispiel schwere Massengüter im Schiffsverkehr, hochwertige, leichte Güter im Luftverkehr).



**Abbildung 5**

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10;

Berechnung gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15;

Nicht berücksichtigt sind hier die Lieferwagen: Viele Fahrten der Lieferwagen dienen anderen Zwecken als Gütertransporten in engerem Sinne (zum Beispiel Servicedienste von Handwerkern oder Fahrten für Personentransporte). Unter anderem aufgrund der geringen Transportmengen verursachen die Lieferwagen mit 86.8 Rp. pro tkm die höchsten externen Kosten.

Der Güterverkehr auf Seen mit 46.5 Rp. pro tkm wird in der Abbildung nicht dargestellt, da nur 2 Prozent der geleisteten Güterverkehrsleistung im Schiffsverkehr auf Seen erfolgt.

## 2.4. Veränderung der externen Kosten und Nutzen

Die externen Kosten des Verkehrs sind zwischen 2010 und 2016 von 12.0 Mrd. auf 13.3 Mrd. Fr. angestiegen. Steigende Kosten über den gesamten Zeitraum und über praktisch alle Verkehrsträger verzeichnen die Schadenskategorien Klima, Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und Lärm.

Folgende Faktoren wirken kostensteigernd auf die externen Effekte des Verkehrs:

- Steigende Anzahl zurückgelegter Kilometer im Land- und Luftverkehr;
- Zunehmende Bevölkerung und zunehmende Anzahl Gebäude, das wirkt sich vor allem in den Schadenskategorien Luftverschmutzung und Lärm aus;
- Tendenziell steigende Preise (zum Beispiel Nominallohne und Immobilienpreise, respektive Mieten).

Kostensenkend wirken folgende Faktoren:

- Abnehmende Unfallzahlen im priv. motorisierten Personenverkehr auf der Strasse;
- Verbesserte Motorentechnik und dadurch abnehmende Emissionen.

Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs 2010 und 2016 in Mio. Fr.			2010	2016
Strasse	Personenverkehr	Priv. mot. PV	6969	7448
		LV	1029	1074
		ÖPV	249	270
	Güterverkehr		1737	1958
Schiene	Personenverkehr		543	610
	Güterverkehr		423	465
Luftverkehr	Personenverkehr		864	1242
	Güterverkehr		79	99
Schiff	Personenverkehr		42	38
	Güterverkehr		78	55
Total externe Kosten			12 013	13 258
Externer Gesundheitsnutzen Langsamverkehr			1211	1379

Tabelle 3

©ARE

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10;

Berechnung gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15;

Priv. mot. PV: privater motorisierter Personenverkehr; LV: Langsamverkehr; ÖPV: Öffentlicher Personenverkehr.

Auf der Strasse sind im privaten motorisierten Personenverkehr die Unfallzahlen zwischen 2010 und 2016 gesunken, damit reduzierten sich die externen Unfallkosten um 206 Mio. Fr. Kostensteigerungen in anderen Bereichen bewirkten jedoch insgesamt zunehmende externe Kosten. Beim Langsamverkehr sanken die Unfallzahlen des Fussverkehrs und somit die externen Unfallkosten um 37 Mio. Fr., während zunehmende Unfallzahlen beim Veloverkehr resp. bei den fahrzeugähnlichen Geräten zu 54 resp. 22 Mio. Fr. höheren externen Unfallkosten führten. Insgesamt nahmen somit die externen Kosten des Langsamverkehrs zwischen 2010 und 2016 zu.

Die externen Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs sind zwischen 2010 und 2016 um knapp 170 Mio. Fr. gestiegen. Begründet wird diese Zunahme mit dem Bevölkerungswachstum sowie dem vermehrten zu Fuss gehen respektive Velo fahren.

Im Schiffsverkehr ist es die abnehmende Anzahl Schiffe, die für die sinkenden Gesamtkosten verantwortlich sind. Hinzu kommt beim Güterverkehr 2014 ein methodischer Bruch bei der Erfassung der Schiffe. Die Veränderung der externen Kosten des Schiffsverkehrs zwischen 2010 und 2016 ist daher mit Vorsicht zu interpretieren.

Der starke Anstieg der Gesamtkosten des Luftverkehrs ist vor allem durch die Zunahme der Verkehrsleistung im Luftverkehr zu erklären. Zudem wird auf dem Flughafen Zürich seit 2014 der sogenannte «Lärmfünfliber» nicht mehr erhoben. Damit fällt ein Internalisierungsbeitrag weg, der bisher von den Lärmkosten abgezogen wurde.

### Kostensteigernde Faktoren



mehr zurückgelegte km



Bevölkerungswachstum



steigende Preise

### Kostensenkende Faktoren

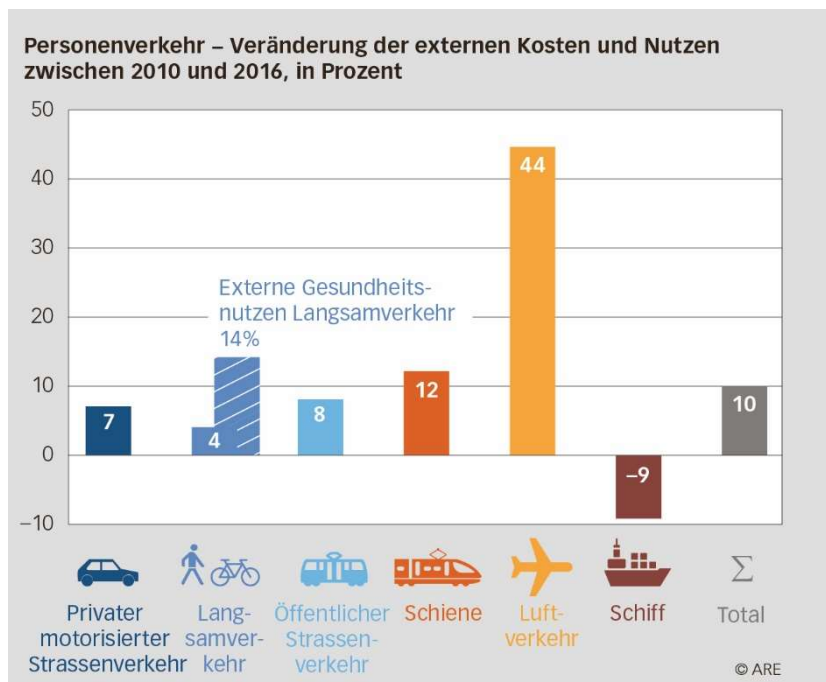


weniger Unfälle durch Personenwagen

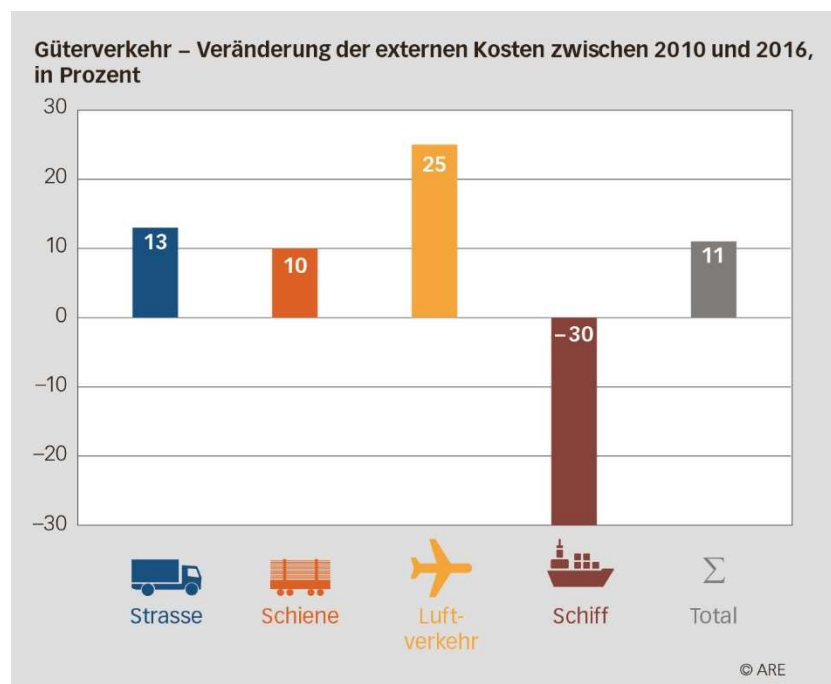


sinkende Emissionsfaktoren

© ARE



**Abbildung 6**



**Abbildung 7**

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10;  
Berechnung gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15.

#### Veränderungen Grundlagendaten

Die Zahlen in der vorliegenden Publikation basieren auf Datengrundlagen, die 2019 überarbeitet wurden<sup>4</sup>. Sie beinhalten Veränderungen gegenüber früheren Publikationen (vor 2018), welche nicht ursächlich dem Verkehrsgeschehen zuzuordnen sind. Insbesondere die Verwendung eines auf neuen wissenschaftlichen Grundlagen beruhenden höheren Wertes für den sogenannten «Wert des statistischen Lebens» (Value of Statistical Life, VOSL) hat einen stark kostensteigernden Einfluss auf die externen Kosten von Luftverschmutzung und Lärm. Der VOSL ist massgebend für die Berechnung der immateriellen Kosten (Kasten 3 «Immaterielle Kosten und Value of Statistical Life (VOSL)», Seite 34), welche mit dieser Änderung bedeutend gestiegen sind.

<sup>4</sup> Infrast, Ecoplan (2019), siehe Seite 2.

Im Weiteren flossen revidierte Luftschadstoff-Emissionsfaktoren ein, neue Daten zum Mobilitätsverhalten aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (BFS/ARE) und überarbeitete Daten zu den Verkehrsinfrastrukturen basierend auf dem topografischen Landschaftsmodell (TLM) von swisstopo. Neue Berechnungsfaktoren für die Schadens-kategorie der vor- und nachgelagerten Prozesse wurden der Ecoinvent-Datenbank (Ver-sion 3.3.) entnommen, sie beinhaltet eine umfassende Zusammenstellung von Ökobi-lanzdaten. Die neuen Grundlagen wurden auf die Berechnungen seit 2010 angewendet. So konnten methodisch bedingte Brüche in der Zeitreihe weitgehend vermieden wer-den. Das bedeutet, dass sich die Zahlen für 2010 in dieser Publikation unterscheiden von den früher publizierten Zahlen.

### **Die drei Sichtweisen**

Die Höhe der externen Kosten und Nutzen ist immer auch abhängig von der Defini-tion, respektive der Sichtweise, was als systemintern und was als systemextern an-gesehen wird. Die externen Effekte des Verkehrs können aus drei verschiedenen Sichtweisen bestimmt werden: aus Sicht Verkehrsträger, aus Sicht Verkehrsteilneh-mende und aus Sicht Verkehrsart.

#### **Sicht Verkehrsträger**

Hier wird der gesamte Verkehrsträger (zum Beispiel die Strasse oder die Schiene) als eine Einheit betrachtet. Innerhalb des Verkehrsträgers werden alle Kosten, welche von den Nutzerinnen und Nutzern dieses Verkehrsträgers selber getragen werden, als intern angesehen (zum Beispiel Kosten eines Strassenverkehrsunfalls zwischen Personenwagen und Velo, die das Unfallopfer selber trägt). Als extern gelten nur jene Kosten, die ausserhalb des Verkehrsträgers anfallen. Dies sind beispielsweise die lärmbedingten Kosten für die Anwohnenden, die Kosten infolge von verkehrsbeding-ter Luftverschmutzung oder derjenige Teil der Unfallkosten, der von den Sozialversi-cherungen – also der Allgemeinheit – übernommen wird. In dieser Broschüre wird hauptsächlich diese Sichtweise dargestellt. Auf diese stützt sich auch die Publikation der Kosten und Finanzierung des Verkehrs des BFS.

#### **Sicht Verkehrsteilnehmende**

Bei dieser Sicht wird für die Abgrenzung von internen und externen Effekten vom einzelnen Verkehrsteilnehmenden ausgegangen. Alle Kosten, die dieser nicht direkt selbst trägt, gelten als extern. Es spielt dabei keine Rolle, wo diese Kosten anfallen (zum Beispiel bei anderen Verkehrsteilnehmenden, beim Steuerzahler oder bei ei-nem Unternehmen). Bei dieser Sicht steht die volkswirtschaftlich effiziente Nutzung der Verkehrsinfrastruktur im Zentrum der Kostenermittlung. Die Resultate gemäss dieser Sichtweise werden auf Seite 17 dargestellt. Unterschiede zur Sicht Verkehrs-träger ergeben sich vor allem bei den Unfallkosten.

#### **Sicht Verkehrsart: Schwerverkehr**

Bei dieser Sichtweise gelten alle Kosten als extern, die nicht innerhalb des Schwer-verkehrs anfallen. Im Gegensatz zur Sicht Verkehrsträger werden also Kosten, die beispielsweise der Strassenschwerverkehr dem Strassenpersonenverkehr verur-sacht, als extern betrachtet. Im Unterschied zur Sicht Verkehrsteilnehmende werden jedoch Kosten, die ein Lastwagen einem Sattelschlepper verursacht, als intern be-trachtet (denn sowohl Lastwagen wie auch Sattelschlepper gehören zum Strassen-schwerverkehr). Aufgrund eines Entscheids des Bundesgerichts<sup>5</sup> ist diese Sichtweise für die Berechnung der externen Kosten des Schwerverkehrs zwecks Bestimmung der Abgabehöhe der LSVa massgebend. Die Resultate werden auf Seite 16 dargestellt.

<sup>5</sup> Entscheid BGE 136 II 337.

### **Kasten 2**

Die LSVA vermag nur einen Teil der anfallenden externen Kosten des Schwerverkehrs zu internalisieren.

## 2.5. Sicht Verkehrsart: Schwerverkehr

Die durch den Strassenschwerverkehr verursachten externen Kosten werden in diesem Kapitel aus Sicht Verkehrsart berechnet. In die Kategorie Schwerverkehr im Sinne des Schwerverkehrsabgabegesetzes fallen Cars, Lastwagen und Sattelschlepper. Dabei gelten Kosten, die der Schwerverkehr dem restlichen Strassenverkehr verursacht, auch als extern (siehe Kasten 2, vorangehende Seite). Dies bewirkt, dass insbesondere die externen Unfallkosten des Schwerverkehrs bei dieser Sichtweise höher sind. Gegenüber der Sichtweise Verkehrsträger erhöhen sie sich 2016 um 68 Mio. Fr. Hinzu kommen zusätzliche externe Kosten in städtischen Räumen von 10 Mio. Fr. Zudem treten bei dieser Sichtweise auch externe Stauzeitkosten auf, welche sich 2016 auf 466 Mio. Fr. belaufen<sup>6</sup>.

Die externen Kosten als Folge des Schwerverkehrs – inklusive Stauzeitkosten und vor Anrechnung des LSVA-Anteils – betragen 2016 aus Sicht Verkehrsart 2298 Mio. Fr. Diesen externen Kosten steht ein Anteil der LSVA-Einnahmen von 949 Mio. Fr.<sup>7</sup> gegenüber, der einen Internalisierungsbeitrag an die externen Umwelt-, Gesundheits-, Unfall- und Staukosten darstellt. Es handelt sich nur um einen Teil der LSVA-Einnahmen, da der andere Teil an die Kantone überwiesen wird und in der Regel für Strasseninfrastruktur-Zwecke verwendet wird. Es verbleiben 1350 Mio. Fr. nicht internalisierte externe Kosten.

Um eine umfassende Sicht der vom Schwerverkehr verursachten und von ihm gedeckten Kosten zu erhalten, muss zudem die Deckung der Infrastrukturkosten miteinbezogen werden. Im Jahr 2016 resultierte eine Unterdeckung der Infrastrukturkosten des Schwerverkehrs von 189 Mio. Fr.<sup>8</sup>

Wie in Kapitel «2.4. Veränderung der externen Kosten und Nutzen» (Seite 13) erwähnt, hat die Anpassung des Wertes des statistischen Lebens (Value of Statistical Life, VOSL) auf die Berechnungen der externen Kosten einen stark kostensteigernden Einfluss. Um die Vergleichbarkeit über die Zeit zu erhalten, wurden die Jahre 2010 bis 2016 mit dem aktualisierten VOSL gerechnet. Daher weichen die hier ausgewiesenen Beträge von den vor 2018 publizierten Beträgen ab.

<sup>6</sup> MK Consulting (2019) Staukosten Schweiz 2015

<sup>7</sup> Berechnung: LSVA-Einnahmen von 1454 Mio. Fr. minus Kantonsanteil für Strassenzwecke von 505 Mio. Fr. ergibt 949 Mio. Fr. Die Stauzeitkosten werden als Kostenbestandteil aufgeführt und daher nicht von den Einnahmen abgezogen.

<sup>8</sup> BFS (2019) Strasseninfrastrukturrechnung

Externe Kosten des Schwerverkehrs 2010 bis 2016 in Mio. Fr.							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Luftverschmutzung	713	704	679	671	666	648	634
Lärm	507	519	529	539	551	562	573
Klima	175	183	190	191	197	199	206
Natur und Landschaft	119	123	122	123	121	119	116
Vor- und nachgelagerte Prozesse	141	143	142	142	142	142	142
Unfälle	129	183	208	127	106	137	99
Stauzeitkosten	378	391	411	398	421	444	466
Weitere	63	65	64	65	64	64	63
<b>Zwischentotal</b>	<b>2225</b>	<b>2311</b>	<b>2346</b>	<b>2256</b>	<b>2268</b>	<b>2314</b>	<b>2298</b>
Abzug LSVA-Anteil	- 976	- 1017	- 999	- 991	- 974	- 950	- 949
<b>Externe Kosten nach Abzug LSVA-Anteil</b>	<b>1249</b>	<b>1294</b>	<b>1347</b>	<b>1265</b>	<b>1295</b>	<b>1363</b>	<b>1350</b>
Ungedekte Infrastrukturkosten Schwerverkehr	118	77	100	95	103	186	189
<b>Ungedekte Kosten Schwerverkehr</b>	<b>1367</b>	<b>1371</b>	<b>1447</b>	<b>1360</b>	<b>1398</b>	<b>1549</b>	<b>1539</b>

**Tabelle 4**

©ARE

Berechnung gemäss Sicht Verkehrsart: Schwerverkehr; siehe Kasten 2, Seite 15;

Die Berechnungen basieren auf dem mittleren Wert des Value of Statistical Life (VOSL) und dem mittleren CO<sub>2</sub>-Kostensatz (siehe Kasten 3, Seite 34 und Kapitel 3.5., Seite 24).



## 2.6. Sicht Verkehrsteilnehmende

Bei der Betrachtung der externen Kosten aus Sicht Verkehrsteilnehmende sind alle Kosten, die nicht vom Verursacher selber getragen werden, extern (siehe Kasten 2 «Die drei Sichtweisen», Seite 15). Im Zentrum der Kostenermittlung steht die volkswirtschaftlich effiziente Nutzung der Verkehrsinfrastruktur.

Im Vergleich zur Sicht Verkehrsträger entstehen bei dieser Sichtweise bei allen Verkehrsträgern zusätzliche Unfallkosten. Im Jahr 2016 sind dies zusätzliche 2400 Mio. Fr. im Strassenverkehr, 8 Mio. Fr. im Schienenverkehr, 13 Mio. Fr. im Luftverkehr und eine knappe Million im Schiffsverkehr. Im Strassenverkehr kommen zudem Trenneffekte in städtischen Räumen in der Höhe von 177 Mio. Fr. hinzu, die der motorisierte Verkehr dem Langsamverkehr aufbürdet.

Gesamthaft fallen damit die externen Kosten 2016 aus Sicht Verkehrsteilnehmende um 2599 Mio. Fr. höher aus als aus Sicht Verkehrsträger und betragen 15.9 Mrd. Fr.

Externe Kosten und Nutzen 2016 in Mio. Fr.							
	Strasse			Schiene	Luftverkehr	Schiff	Total
	Priv. mot. PV u. GV	LV	ÖPV				
Personenverkehr	9317	1360	356	616	1255	38	12 942
Güterverkehr	2293			467	99	55	2914
<b>Total</b>		<b>13 326</b>		<b>1083</b>	<b>1354</b>	<b>94</b>	<b>15 857</b>
Gesundheitsnutzen Langsamverkehr (Personenverkehr)		1379					1379

©ARE

**Tabelle 5**

Strassen-/Schienenverkehr: Territorialprinzip, Luft-/Schiffsverkehr: Halbstreckenprinzip; siehe Kasten 1, Seite 10;

Berechnung gemäss Sicht Verkehrsteilnehmende; siehe Kasten 2, Seite 15;

Priv. mot. PV und GV: privater motorisierter Personen- und Güterverkehr; LV: Langsamverkehr; ÖPV: Öffentlicher Personenverkehr.

### 3. Detailauswertung nach Schadens- und Nutzenkategorie

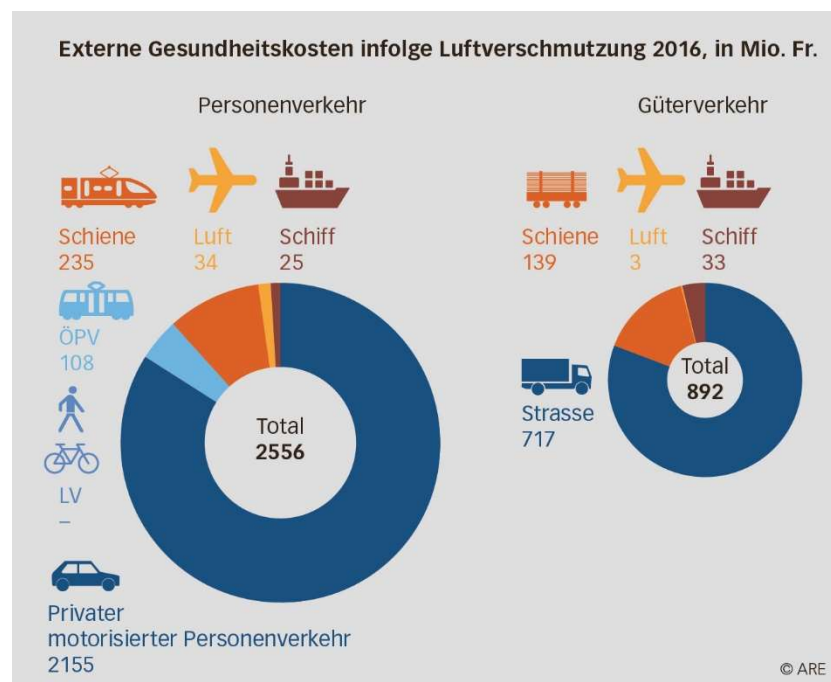
#### 3.1. Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung

Der Verkehr ist eine bedeutende Quelle der Luftverschmutzung. Er setzt unter anderem grosse Mengen an gesundheitsschädigenden Feinstaubpartikeln frei, einerseits durch Verbrennungsabgase und andererseits durch Pneu-, Bremsklotz- sowie Fahrleitungsabriebe und Aufwirbelungen. Gemäss einer Vielzahl von epidemiologischen Untersuchungen beeinträchtigt die Schadstoffbelastung bei der betroffenen Bevölkerung den Gesundheitszustand. Diese Beeinträchtigung kann sich in zusätzlichen Krankheitsfällen äussern sowie die Lebenserwartung der betroffenen Personen verkürzen.

Grundlage für die Ermittlung der Gesundheitskosten ist die Kenntnis über die aktuelle verkehrsbedingte Schadstoffbelastung der Bevölkerung<sup>9</sup>. Auf dieser Basis, und mit dem Wissen um den Zusammenhang zwischen Schadstoffbelastung und Krankheitshäufigkeit beziehungsweise Sterblichkeit, lässt sich die Zahl der luftverschmutzungsbedingten Krankheits- und Todesfälle bestimmen. Daraus werden die Gesundheitskosten ermittelt, die sich aus den medizinischen Behandlungskosten, den Produktionsausfällen, den Wiederbesetzungskosten der Arbeitgeber sowie den immateriellen Kosten zusammensetzen.

Gesamthaft fallen durch die Luftbelastung des Verkehrs externe Gesundheitskosten von 3448 Mio. Fr. an. Davon verursacht der Strassenverkehr insgesamt 2979 Mio. Fr. (86 %) und der Schienenverkehr 374 Mio. Fr. (oder 11 %), während im Schiffs- und Luftverkehr vergleichsweise geringe Kosten von 58 respektive 37 Mio. Fr. auftreten (2 % respektive 1 %).

<sup>9</sup> Der für diese Berechnungen ausschlaggebende Schadstoff ist PM<sub>10</sub> (Feinstaubpartikel mit einem Durchmesser von maximal 10 µm).



**Abbildung 8**

Für alle Berechnungen im vorliegenden Kapitel gilt:

Berechnungen gemäss Sicht Verkehrsträger; siehe Kasten 2, Seite 15;

Beim Güterverkehr Strasse wurde kein Anteil LSVA in Abzug gebracht, da sich die Einnahmen der LSVA nicht spezifisch auf die einzelnen Kostenbereiche zurechnen lassen. Der Internalisierungsbeitrag der LSVA wird im Kapitel 2.2., Seite 8 ersichtlich.

Die immateriellen Kosten machen einen grossen Teil der gesamten externen Gesundheitskosten der Luftbelastung aus. Für ihre Berechnung wird der sogenannte Wert des statistischen Lebens (Value of Statistical Life, VOSL) verwendet, wobei die Höhe dieses Wertes nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft bestimmt wurde (Kasten 3 «Immaterielle Kosten und Value of Statistical Life (VOSL)», Seite 34). Die erwähnten 3448 Mio. Fr. basieren auf dem mittleren Wert des VOSL von 6.6 Mio. Fr. für das Jahr 2016. Um die Unsicherheiten, welche mit einem solchen Wert verbunden sind abzudecken, werden die Berechnungen ebenfalls mit einem 50 % tieferen VOSL von 3.3 Mio. Fr. und mit einem 50 % höheren VOSL von 9.9 Mio. Fr. gerechnet. Dies ergibt eine untere Grenze der externen Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung von 2069 Mio. Fr. und eine obere Grenze von 4828 Mio. Fr.

Im Luftverkehr wird ein Teil der Kosten der Luftverschmutzung durch emissionsabhängige Landegebühren internalisiert. Die Einnahmen aus diesen Landegebühren betrugen 2016 knapp 5 Mio. Fr. Ohne diese Internalisierung würden sich die durch den Flugverkehr verursachten Gesundheitskosten aufgrund der Luftverschmutzung auf 42 Mio. Fr. belaufen.

### 3.2. Gebäudeschäden durch Luftverschmutzung

Die vom Verkehr ausgestossenen Feinstaubpartikel (PM<sub>10</sub>) schaden nicht nur der menschlichen Gesundheit, sie verschmutzen und beschädigen auch Gebäudefassaden. Die externen Kosten zeigen auf, wie viel mehr für Reinigung, Reparatur und Renovation von Fassaden aufgewendet werden muss, verglichen mit einem Zustand ohne PM<sub>10</sub>-Emissionen des Verkehrs. Die Berechnungen basieren auf systematischen Untersuchungen und Expertengesprächen.

Insgesamt fallen durch die Emissionen des Schweizer Verkehrs 2016 externe Gebäudekosten von 258 Mio. Fr. an. Die Verteilung ist gleich wie bei den Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung: Der Strassenverkehr verursacht 86 % (223 Mio. Fr.), der Schienenverkehr 11 % (28 Mio. Fr.). Die von Schiffs- und Luftverkehr verursachten Gebäudeschäden liegen mit 2 % respektive 1 % deutlich tiefer (bei 4 respektive 3 Mio. Fr.).

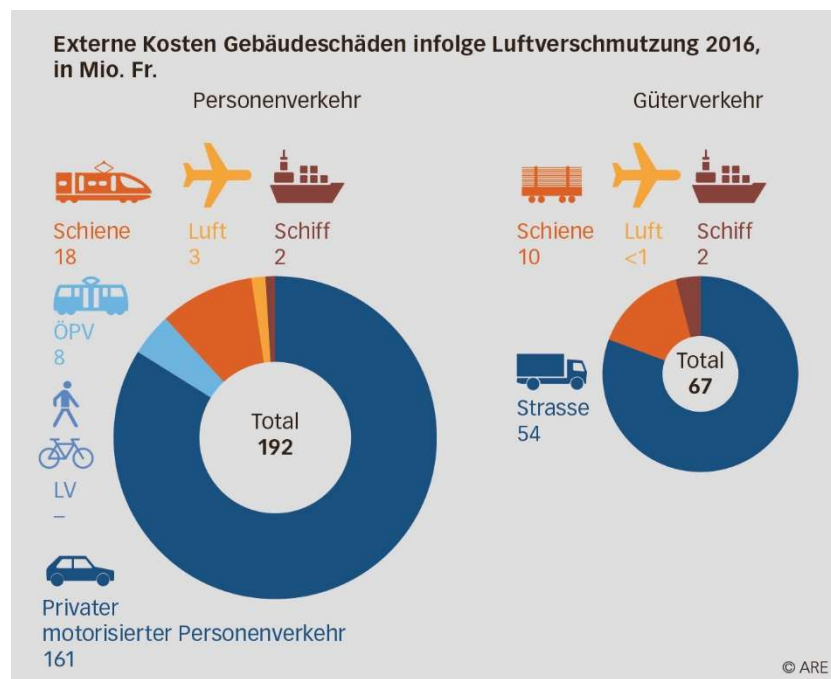


Abbildung 9

### 3.3. Weitere durch Luftverschmutzung verursachte Kosten

#### Ernteaufälle durch Luftverschmutzung

Luftschadstoffemissionen des Verkehrs schädigen Pflanzen in verschiedener Weise und führen so zu Ernteverlusten in der Landwirtschaft. Die vom Verkehr ausgestossenen Stickoxide bilden zusammen mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) unter dem Einfluss der Sonnenstrahlen bodennahes Ozon. Die negative Wirkung von Ozon auf Nutzpflanzen ist wissenschaftlich gut belegt. Als starkes Oxidationsmittel kann Ozon bei Pflanzen zu Schädigungen von Membranen führen und so die Photosynthese und Transpiration hemmen. Diese Schäden führen bei längerer Ozonexposition insgesamt zu einem verminderten Pflanzenwachstum und damit zu Ernteverlusten.

Mit Hilfe der bekannten Beziehungen zwischen Ozondosis und Ernteertrag wird der prozentuale Rückgang der Erträge aus verschiedenen Nutzpflanzenarten berechnet. Diese mengenmässigen Ernteverluste werden monetarisiert, indem die Mengen mit den Produzentenpreisen der entsprechenden Nutzpflanzen multipliziert werden.

Insgesamt betragen die Ernteaufälle 2016 durch verkehrsbedingtes Ozon 61 Mio. Fr. Der Anteil des Strassenverkehrs an diesen Kosten beträgt 91 % (55 Mio. Fr.), die anderen Verkehrsträger verursachten zusammen die restlichen 6 Mio. Fr. (knapp 5 % der Schiffsverkehr, 4 % der Luftverkehr und 1 % der Schienenverkehr).

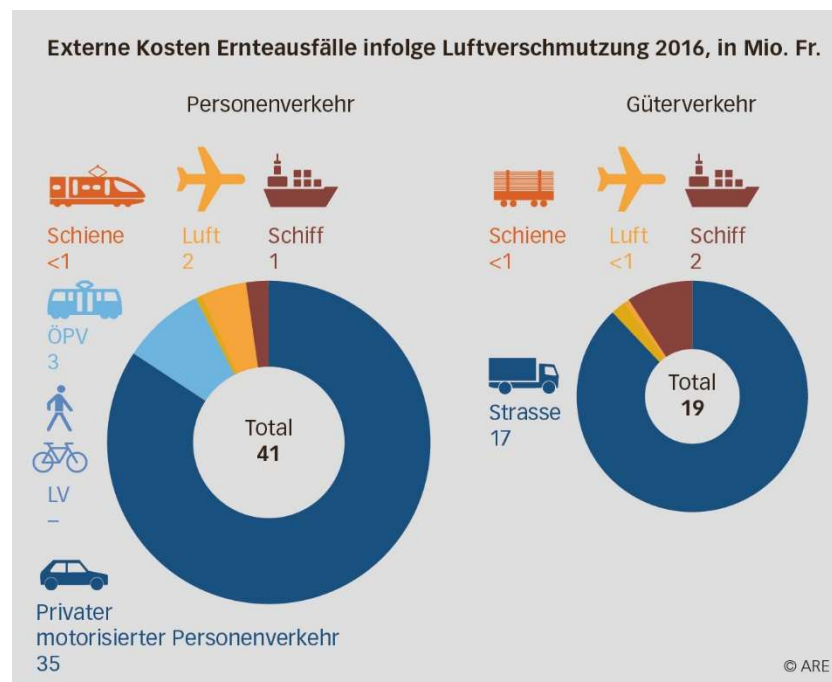


Abbildung 10

### Waldschäden durch Luftverschmutzung

Die Verkehrsemissionen von Stickoxiden, Ammoniak und Schwefeldioxid führen im Wald zu übermässigem Nährstoffeintrag (Eutrophierung), Bodenversauerung und Ozonbelastung. Als Folge davon sind Störungen des Wachstums in Stamm, Trieben und Wurzeln sowie Beeinträchtigungen des Nährstoffhaushalts der Pflanzen nachgewiesen. Für eine Reihe der Einflüsse von Luftschadstoffen auf den Wald sind keine quantitativen Aussagen möglich. Einzig das reduzierte Holzwachstum aufgrund Ozonbelastung und Bodenversauerung sowie das erhöhte Windwurfrisiko durch Bodenversauerung lassen sich quantifizieren: Berechnet werden die Schadenskosten für die Forstwirtschaft. Die Waldschäden durch die verkehrsbedingten Emissionen betragen 2016 58 Mio. Fr., wovon 53 Mio. Fr. beziehungsweise 91 % vom Strassenverkehr verursacht werden. Die Kosten der restlichen Verkehrsträger zusammen belaufen sich insgesamt auf 5 Mio. Fr. (Schiffsverkehr: 4 %, Luftverkehr: 3 %, Schienenverkehr: 1 %).

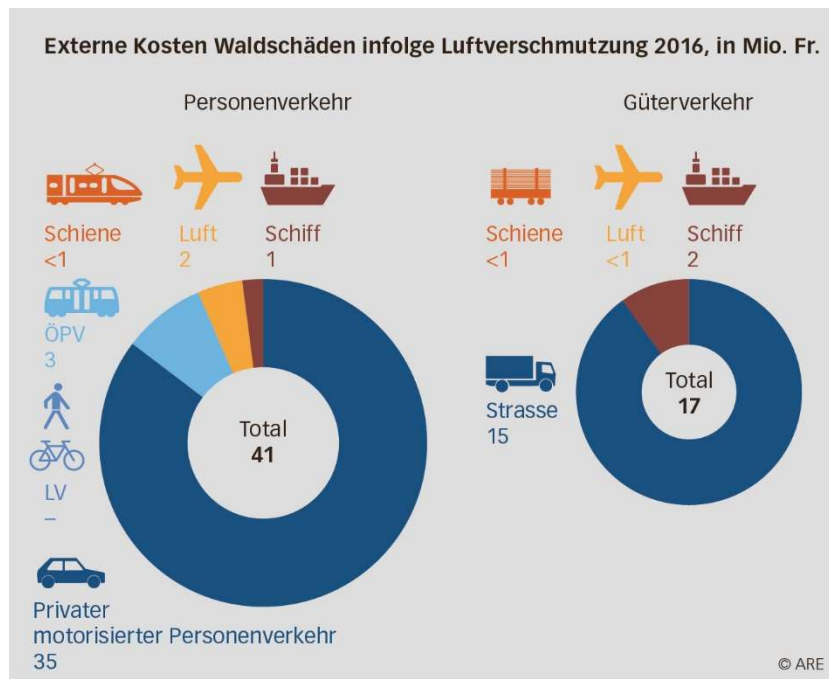


Abbildung 11

### Biodiversitätsverluste durch Luftverschmutzung

Wie bei den Ernteverlusten und Waldschäden gehen die Biodiversitätsverluste auf Eutrophierung (übermässige Anreicherung von Nährstoffen) und Versauerung zurück. Die Eutrophierung hat bei Landökosystemen eine Abnahme von verschiedenen Pflanzenarten zur Folge, da nährstoffliebende Pflanzenarten die übrigen Arten verdrängen. Dieselbe Wirkung hat die Versauerung: Auf versauerten Böden ist das Gedeihen vieler grundsätzlich standorttypischer Pflanzenarten gehemmt.

Für die Berechnung der Kosten der Biodiversitätsverluste wird die verkehrsbedingte Emissionsmenge an versauernden und eutrophierenden Luftschadstoffen mit einem Kostensatz für die Biodiversitätsverluste pro Tonne dieser Schadstoffemissionen multipliziert. Der Kostensatz quantifiziert die Kosten, welche für die Wiederherstellung von artenreichen Ökosystemen entstehen würden.

Die Gesamtkosten der Biodiversitätsverluste über alle Verkehrsträger betragen 2016 125 Mio. Fr. Davon verursachte der Strassenverkehr 116 Mio. Fr. (93 %). Dem Schiffsverkehr sind 5 Mio. Fr. (knapp 4 %) anzurechnen, dem Luftverkehr 4 Mio. Fr. (3 %) und dem Schienenverkehr gut 1 Mio. Fr. (1 %).

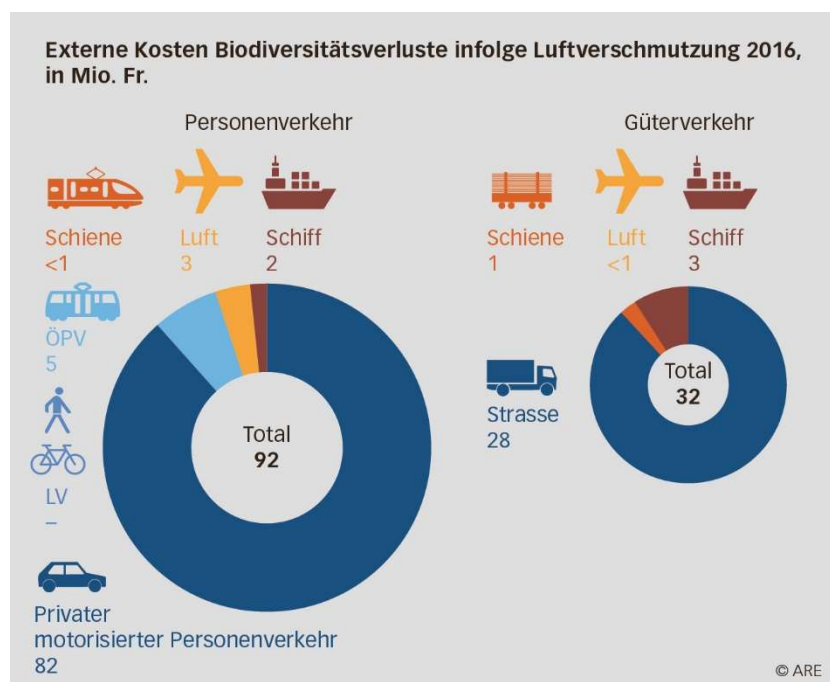


Abbildung 12

### 3.4. Lärm

Lärm wird von den Betroffenen einerseits bewusst als störend oder belästigend wahrgenommen, andererseits hat er gesundheitliche Folgen, die dem Grossteil der Bevölkerung nicht bewusst sind.

Bewusst wahrgenommen werden beispielsweise Störungen durch einzelne Zugdurchfahrten, Flugzeugstarts oder Autos. Diese Störungen beeinträchtigen die Konzentration, die Kommunikation sowie die Ruhe und Erholung und sie verursachen Schlafunterbrüche. Da es keinen beobachtbaren Preis für Ruhe gibt, werden die Kosten dieser Störungen über den Wertverlust von lärmbelasteten Wohnungen berechnet: Lärmbelastete Wohnungen erzielen auf dem Wohnungsmarkt einen geringeren Preis als vergleichbare Wohnungen an ruhiger Wohnlage. Diese Preisdifferenz wird als Schätzung für die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für Ruhe verwendet.

Die Lärmbelastung kann bei den Betroffenen auch zu gesundheitlichen Problemen führen, welche weniger bewusst mit dem Verkehrslärm in Zusammenhang gebracht werden. Diese körperlichen oder psychischen Krankheiten entstehen meist durch mittel- bis langfristig auftretende Lärmbelastungen. Diese Gesundheitskosten aufgrund der Lärmbelastung basieren auf epidemiologischen Studien, welche den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und Gesundheitsschäden aufzeigen. Die Kosten werden anschliessend analog den Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung bestimmt. Auch bei den Lärmkosten umfassen die immateriellen Kosten einen substantiellen Teil der gesamten Kosten.

Die gesamten Lärmkosten infolge des Verkehrs im Jahr 2016 betragen 2667 Mio. Fr. Der Strassenverkehr ist mit 2133 Mio. Fr. für den Grossteil der Kosten verantwortlich (80 %), während auf den Schienenverkehr 408 Mio. Fr. (15 %) und auf den Luftverkehr 127 Mio. Fr. (5 %) entfallen. Die Gesundheitskosten des Lärms belaufen sich auf 1470 Mio. Fr. (55 %), während 1197 Mio. Fr. (45 %) auf Belästigungen zurückzuführen sind. Für den Schiffsverkehr wurden keine Lärmkosten berechnet, da er im Vergleich mit den anderen Verkehrsträgern keine relevanten Lärmemissionen an Wohnorten erzeugt.

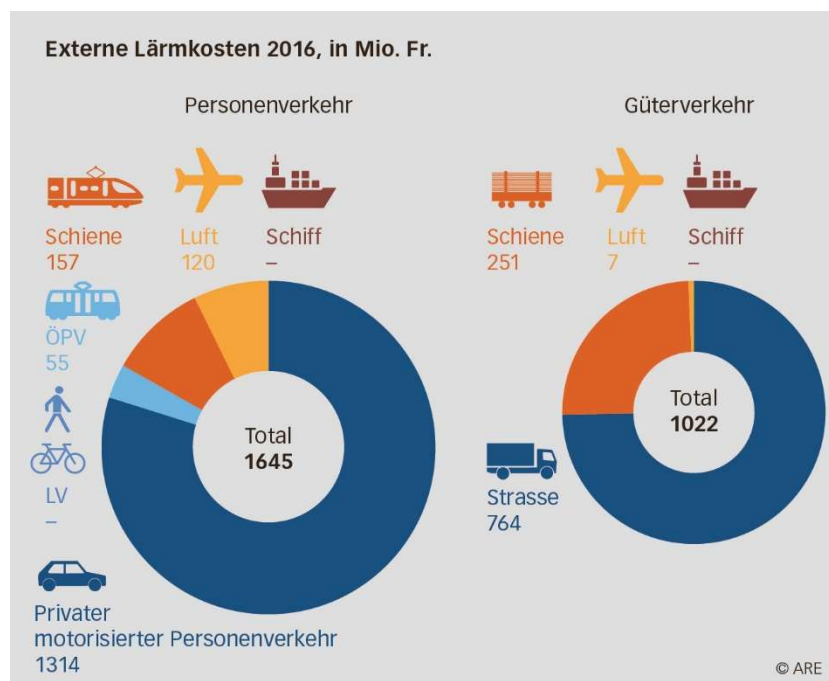


Abbildung 13

Die immateriellen Kosten machen einen grossen Teil der gesamten externen Gesundheitskosten des Lärms aus. Für ihre Berechnung wird der sogenannte Wert des statistischen Lebens (Value of Statistical Life, VOSL) verwendet, wobei die Höhe dieses Wertes nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft bestimmt wurde (Kasten 3 «Immaterielle Kosten und Value of Statistical Life (VOSL)», Seite 34). Die erwähnten externen Lärmkosten von 2667 Mio. Fr. basieren auf dem mittleren Wert des VOSL von 6.6 Mio. Fr. für das Jahr 2016. Um die Unsicherheiten, welche mit einem solchen Wert verbunden sind abzudecken, werden die Berechnungen ebenfalls mit einem 50 % tieferen VOSL von 3.3 Mio. Fr. und mit einem 50 % höheren VOSL von 9.9 Mio. Fr. gerechnet. Dies ergibt eine untere Grenze der externen Lärmkosten von 2049 Mio. Fr. und eine obere Grenze von 3286 Mio. Fr.

Im Luftverkehr wurde am Flughafen Zürich Anfang 2014 die Erhebung des sogenannten «Lärmfünlbers» abgeschafft, da der Fonds für die Finanzierung von Lärmsanierungsmassnahmen genügend geäufnet ist. Die bisherigen jährlichen Einnahmen aus diesen Gebühren in der Höhe von rund 50 Mio. Fr. wurden in den Jahren vor 2014 als Internalisierungsbeitrag von den externen Kosten abgezogen. Da seither keine derartigen Internalisierungsbeiträge mehr anfallen, sind die ausgewiesenen externen Lärmkosten des Luftverkehrs angestiegen.

### 3.5. Klima

Die Verbrennung von fossilen Treibstoffen wie Benzin, Diesel oder Kerosin führt zu Treibhausgasemissionen, die eine Veränderung des Klimas zur Folge haben (vorwiegend CO<sub>2</sub>). Die Auswirkungen sind vielfältig. Wissenschaftlich belegt sind unter anderem:

- Anstieg des Meeresspiegels infolge globaler Temperaturerhöhung;
- Beeinträchtigung der Nahrungsmittelproduktion durch häufiger auftretende Extremwetterereignisse (Dürren, Starkniederschläge, Wirbelstürme, Zunahme von Schädlingen, etc.); z.T. auch Ertragszunahme durch moderaten Temperaturanstieg;
- Zunehmende Extremwetterereignisse können überdies zu Schäden an Infrastrukturen, Unfällen von Menschen, veränderter Wasserverfügbarkeit (zum Beispiel Wasserknappheit) und anderen Schäden führen;
- Gesundheitsschäden: direkte Wirkungen durch extreme Wetterereignisse, die das Risiko von Herz-Kreislaufkrankungen oder Asthma erhöhen (zum Beispiel Hitze) oder aber zu Unfällen oder Wasserverunreinigungen führen können;
- Schäden an Ökosystemen und Verminderung der biologischen Vielfalt.

Möglich ist überdies eine grosse Zahl indirekter Folgen, u.a. durch grosse Migrationsbewegungen von Menschen als Folge verschlechterter Klima- und Lebensbedingungen oder unbewohnbar gewordener Gebiete. Ebenso werden nebst der Landwirtschaft – je nach Region – verschiedene andere Wirtschaftszweige sehr stark von den Klimaänderungen betroffen sein, zum Beispiel der Tourismus oder die Fischerei.

Die Forschung im Bereich der Quantifizierung der Folgen des Klimawandels hat sich stark entwickelt. Dennoch sind die Unsicherheiten insbesondere in Bezug auf die langfristigen Folgen und Schäden erheblich, da beispielsweise die Eintretenswahrscheinlichkeit und die Kosten von irreversiblen Kippeffekten (zum Beispiel Golfstrom) nicht verlässlich berechnet werden können.

Der zentrale Punkt bei der Berechnung der klimabedingten externen Kosten ist die Frage, wie hoch der Kostensatz einer ausgestossenen Tonne CO<sub>2</sub> ist. Die vorliegenden Berechnungen orientieren sich dazu an folgenden Grundsätzen:

- Gemäss breitem Konsens in der Forschung wird davon ausgegangen, dass sich das Klima im weltweiten Durchschnitt nicht mehr als 2 Grad Celsius über das Niveau vor der Industrialisierung erwärmen sollte, damit die negativen Effekte des Klimawandels nicht zu gross werden.
- Der Kostensatz drückt aus, wie viel es kostet, eine Tonne CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu vermeiden, wenn die erwähnte 2-Grad-Limite eingehalten werden soll.



Basierend auf internationalen Studien zu den globalen Vermeidungskosten wird für das Jahr 2016 von einem mittleren Wert von 125.2 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub><sup>10</sup> ausgegangen. Dieser Kostensatz wird mit der Menge des ausgestossenen CO<sub>2</sub> der einzelnen Verkehrsträger multipliziert.

Für das Jahr 2016 ergeben sich bei diesem mittleren CO<sub>2</sub>-Kostensatz externe Klimakosten des Verkehrs von 2610 Mio. Fr. Knapp zwei Drittel dieser Kosten, nämlich 1610 Mio. Fr., entfallen auf den Strassenverkehr, gut ein Drittel, 983 Mio. Fr., auf den Luftverkehr. Schiffs- und Schienenverkehr verursachen nur sehr geringe (direkte) Klimakosten von 12 Mio. Fr. respektive 3 Mio. Fr. Die Klimaschäden für die Bereitstellung des Bahnstroms werden im Kapitel «3.7. Vor- und nachgelagerte Prozesse» (Seite 27) berücksichtigt.

Aufgrund der Unsicherheiten bei der Bestimmung des CO<sub>2</sub>-Kostensatzes werden neben den Berechnungen basierend auf dem mittleren Kostensatz ebenfalls solche mit einem tieferen Kostensatz von 71.2 Fr. respektive einem höheren Kostensatz von 220.3 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub> durchgeführt. Dies ergibt eine untere Grenze der externen Klimakosten 1556 Mio. Fr. und eine obere Grenze von 4814 Mio. Fr.

Seit 2013 sind Importeure von fossilen Treibstoffen verpflichtet, einen Anteil der verkehrlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu kompensieren. Die geschätzten Einnahmen für diese Kompensation betrugen 2016 im Strassenverkehr 123 Mio. Fr. Ohne diese Internalisierung wären für den Strassenverkehr Klimakosten von 1733 Mio. Fr. auszuweisen. Im Luftverkehr entstehen Einnahmen aus der Kompensationspflicht von einer Million Franken (die Kompensationspflicht gilt nur für Inlandflüge), damit betragen die Klimakosten ohne Internalisierung 984 Mio. Fr. Beim Schiffsverkehr wurde ebenfalls eine (knappe) Million Franken Kompensationszahlungen geleistet, ohne diese würden die externen Klimakosten des Schiffsverkehrs 13 Mio. Fr. betragen, im Schienenverkehr sind die Einnahmen aus der Kompensationspflicht kleiner als eine Million Franken.

Mitte 2012 sind zudem CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für Personenwagen in Kraft gesetzt worden. Autoimporteure, welche die festgelegte Obergrenze überschreiten, müssen eine Sanktion bezahlen. 2016 betrugen die Einnahmen aus den Sanktionen, die als Internalisierungsbeitrag angerechnet wurden, eine Million Franken.

<sup>10</sup> Genau genommen bezieht sich der Kostensatz auf die Menge an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>-eq). Die Daten der Emissionsmengen der verschiedenen Verkehrsträger liegen in CO<sub>2</sub>-eq vor.

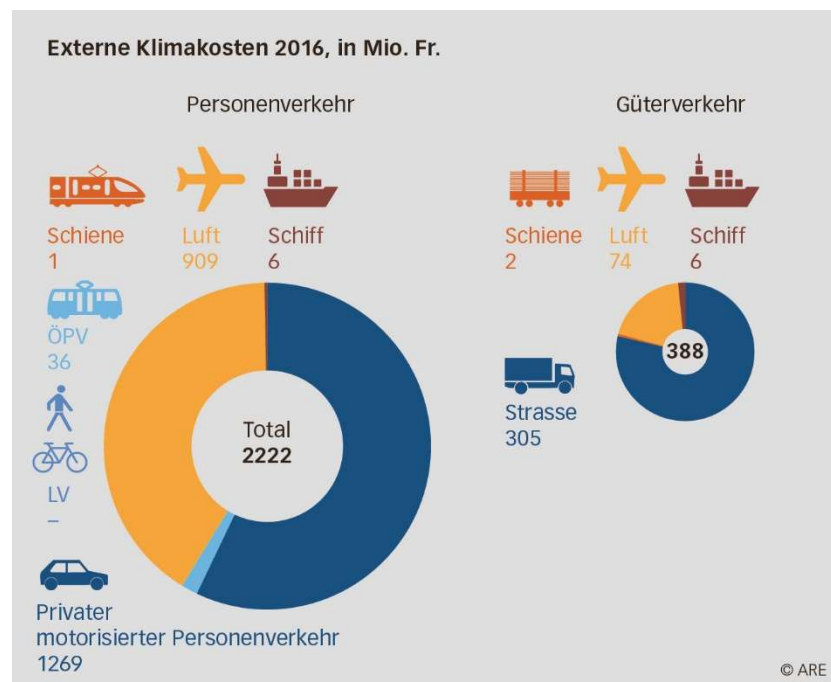


Abbildung 14

### 3.6. Natur und Landschaft

Bau und Betrieb von Verkehrsinfrastrukturen führen zu Zerschneidungen und Verlusten von Lebensräumen für Fauna und Flora, zu sogenannter Habitatfragmentierung und zu Habitatverlusten. Die Habitatfragmentierung wird nur bei den Verkehrsträgern Strasse und Schiene als genügend relevant eingestuft, um deren Kosten zu berechnen.

Bezüglich der Habitatfragmentierung wurden die Kosten bestimmt, die für die Erstellung von Überbrückungsbauwerken (Überführungen, Unterführungen, Durchlässe) notwendig wären. Hinsichtlich der Habitatverluste wurde ermittelt, was es kosten würde, die verlorenen Biotop- beziehungsweise Ökosystemflächen anderswo wiederherzustellen. Eingerechnet sind Kosten für Landerwerb, Instandstellung und Pflege der Ersatzflächen.

Im Jahr 2016 entstanden durch das Schweizer Verkehrssystem in der Schadenskategorie Natur und Landschaft externe Kosten von insgesamt 1177 Mio. Fr. Der Strassenverkehr verursacht mit 1036 Mio. Fr. den Grossteil dieser Kosten (88 %), auf den Schienenverkehr entfallen 129 Mio. Fr. (11 %). Dem Luftverkehr und dem Schiffsverkehr sind 7 Mio. Fr. respektive 5 Mio. Fr. anzurechnen (1% respektive unter einem Prozent).

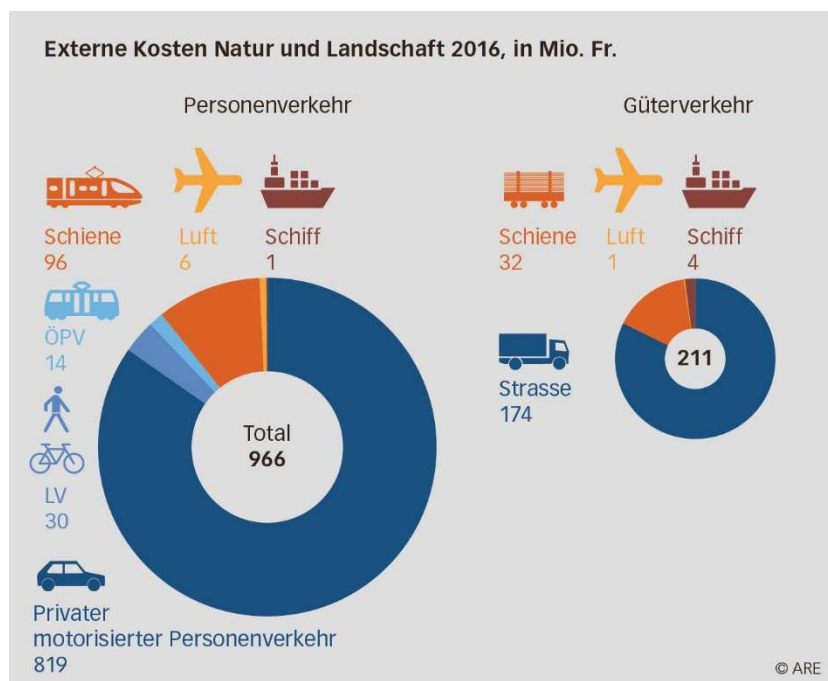


Abbildung 15

### 3.7. Vor- und nachgelagerte Prozesse

Bei der Bereitstellung der Antriebsenergie für die Fahrzeuge sowie bei Bau, Unterhalt und Entsorgung von Fahrzeugen und Verkehrsinfrastrukturen treten zahlreiche Umweltbelastungen auf. So entstehen beispielsweise bei der Gewinnung und Aufbereitung von Treibstoffen oder dem Unterhalt von Verkehrsinfrastrukturen verschiedene Schadstoffemissionen. Diese Emissionen und die daraus hervorgehenden Schäden stammen aus Prozessen, die der Verkehrsaktivität vor- oder nachgelagert und somit ursächlich dem Verkehr zuzuordnen sind.

Aufgrund der starken Vernetzung der Weltwirtschaft treten die Umweltbelastungen aus den vor- und nachgelagerten Prozessen global auf, die Bewertung der Schäden ist ebenfalls stark vom regionalen beziehungsweise nationalen Kontext abhängig. Aus Gründen der Machbarkeit fokussiert der vorliegende Berechnungsansatz auf die wichtigsten globalen Umweltbelastungen, die der Schweizer Verkehr verursacht, und bei denen mit pauschalen Kostensätzen aus internationalen Studien gerechnet werden kann. Dies trifft insbesondere auf den Kostensatz für den CO<sub>2</sub>-Ausstoss zu (125.2 Fr. pro Tonne CO<sub>2</sub>, siehe Kapitel «3.5. Klima» auf Seite 24). Zudem werden auch die Effekte anderer Schadstoffemissionen wie Stickoxide, Feinstaub, Schwefeldioxid und flüchtige organische Verbindungen einbezogen. Aus einem EU-Projekt liegen Kostensätze für die Bewertung der Schäden aus diesen Luftschadstoffen vor<sup>11</sup>. Die Kostensätze beziehen sich auf die nördliche Hemisphäre, weil die meisten Vorprozesse dort stattfinden.

<sup>11</sup> Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart (2012), basierend auf EU-Studie HEIMTSA (2011).

Die Kosten für vor- und nachgelagerte Prozesse 2016 betragen 1364 Mio. Fr., wovon 1124 Mio. Fr. (82 %) beim Strassenverkehr und 174 Mio. Fr. (13 %) beim Luftverkehr anfallen. Der Schienenverkehr verursacht 63 Mio. Fr. (5 %), der Anteil des Schiffsverkehrs beträgt 3 Mio. Fr. und liegt unter einem Prozent.

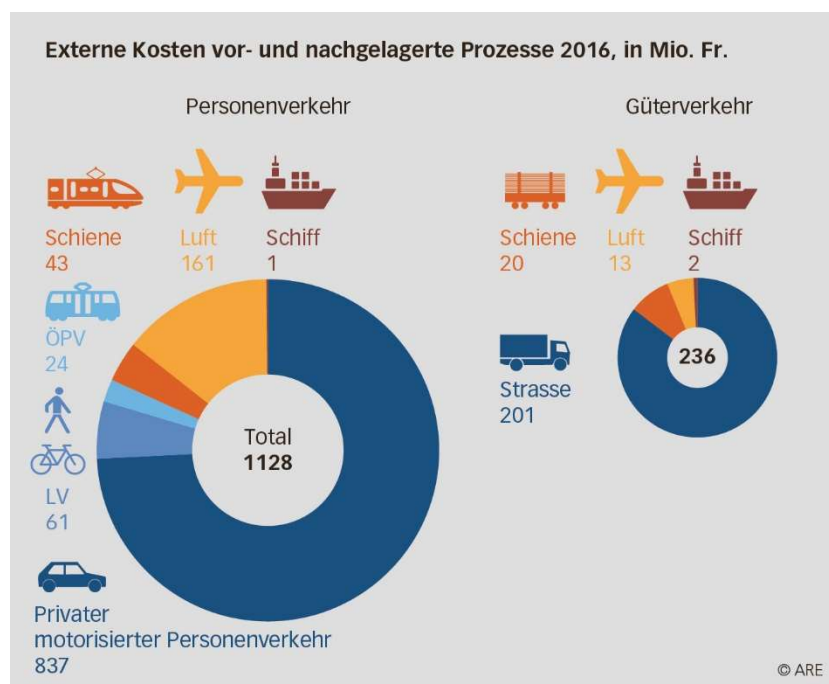


Abbildung 16

### 3.8. Unfälle

Die Verkehrsunfälle verursachen Kosten, die teilweise von den Verkehrsteilnehmenden selbst oder ihrer Motorfahrzeughaftpflichtversicherung getragen werden. Teilweise werden sie aber auch auf andere Verkehrsteilnehmende, auf am Unfallgeschehen unbeteiligte Dritte oder auf die Allgemeinheit überwält. In diesem Fall stellen sie externe Kosten dar. Diese setzen sich aus folgenden Bestandteilen zusammen:

- Leistungen aus der Invalidenversicherung (IV), der Alters- und Hinterlassenenversicherung (AHV) sowie von weiteren Versicherungen, die für Unfallschäden aufkommen, aber keine verkehrsspezifischen Prämien erheben (das heisst Versicherungen, für deren Prämienhöhe es keine Rolle spielt, ob beziehungsweise wie intensiv die Versicherten am Verkehr teilnehmen). Diese Leistungen gehen zu Lasten der Allgemeinheit.
- Produktionsausfälle und Wiederbesetzungskosten zu Lasten der Arbeitgeber;
- Administrative Kosten zu Lasten der Versicherungen;
- Polizei- und Rechtsfolgekosten, die nicht über Verkehrseinnahmen oder Verkehrsrechtsschutzversicherungen abgedeckt werden. Sie gehen zu Lasten der Allgemeinheit.

Für die Berechnung der externen Unfallkosten werden die Anzahl Unfälle, unter Einschluss der polizeilich nicht registrierten Unfälle und Opfer (Dunkelziffer), die verursachende Fahrzeugkategorie, die Anzahl der Verletzten und die Schwere ihrer Verletzungen sowie die Anzahl Todesfälle erhoben. Aus diesen Angaben und den Kostensätzen für die externen Kosten pro Opfer können die externen Unfallkosten bestimmt werden. Die externen Unfallkosten in der Höhe von 1698 Mio. Fr. entstehen praktisch ausschliesslich im Strassenverkehr. In diesem Bereich belaufen sie sich 2016 auf 1695 Mio. Fr. (99.8 % der gesamten externen Unfallkosten). Dabei sind die Kategorien Langsamverkehr (Velo 539 Mio. Fr., Fussverkehr 373 Mio. Fr., fahrzeugähnliche Geräte 71 Mio. Fr.), Personenwagen (416 Mio. Fr.) und Motorräder (165 Mio. Fr.)<sup>12</sup> die Hauptverursacher. Auf die anderen Verkehrsträger entfällt weniger als ein Prozent der externen Unfallkosten: auf den Schienenverkehr knapp 2 Mio. Fr., den Luftverkehr 1 Mio. Fr. und den Schiffsverkehr 0.1 Mio. Fr.

<sup>12</sup> Aus Sicht Verkehrsträger gelten Unfallkosten zwischen den Fahrzeugkategorien des Strassenverkehrs (zum Beispiel Unfälle zwischen Fussgänger und Personenwagen) nicht als externe Kosten. Mehr zu den verschiedenen Sichtweisen siehe Kasten 2 «Die drei Sichtweisen», Seite 15.

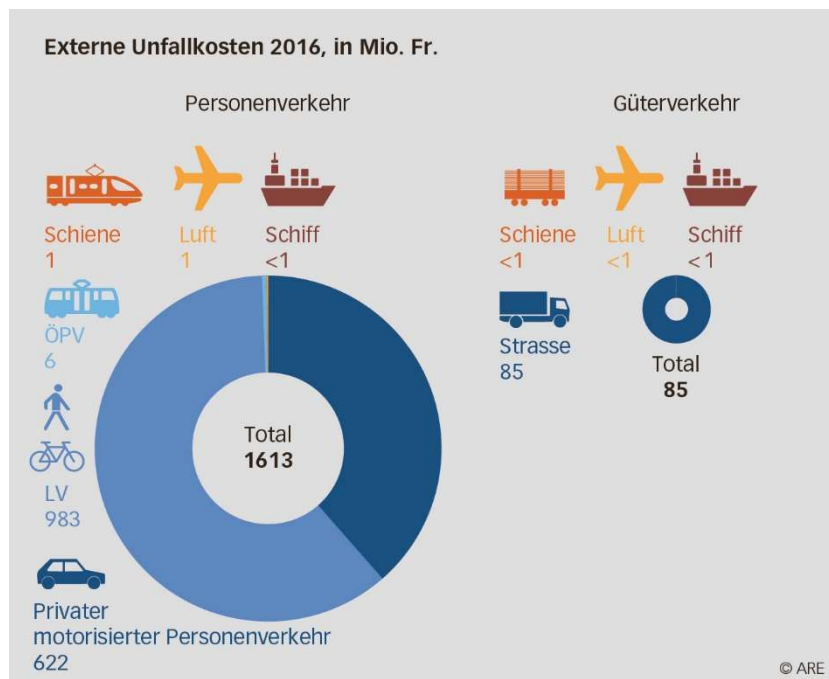


Abbildung 17

### 3.9. Gesundheitsnutzen im Langsamverkehr

Die körperliche Aktivität im Langsamverkehr wirkt sich positiv auf die menschliche Gesundheit aus. Personen, die im Alltag regelmässig zu Fuss oder mit dem Velo unterwegs sind, sind im statistischen Durchschnitt weniger krank und leben länger. Epidemiologische Studien zeigen auf, dass ein Zusammenhang zwischen körperlicher Aktivität im Langsamverkehr und einem verringerten Risiko der Erkrankung an Diabetes, verschiedenen Krebsarten, Demenz, Depression oder Herz-Kreislaufkrankung besteht.

Der Grossteil des Nutzens aus der körperlichen Aktivität im Langsamverkehr ist intern. Schliesslich profitiert diejenige Person, die körperlich aktiv ist, zuallererst selber von ihrer besseren Gesundheit. Zum Teil kommen die positiven Auswirkungen aber auch Dritten zugute:

- Der verbesserte Gesundheitszustand führt zu einer Reduktion von Krankheitsfällen und somit zu Einsparungen bei den medizinischen Heilungskosten (und damit bei den Krankenkassen). Weniger Krankheitsfälle bedeutet auch weniger Produktionsausfälle in der Wirtschaft.
- Durch die Vermeidung von frühzeitigen Todesfällen werden Hinterlassenenrenten (Witwen-, Witwer- und Waisenrenten) eingespart, die ansonsten von der AHV und somit von der Allgemeinheit zu bezahlen wären. Zudem kommt es auch hier zu weniger Produktionsausfällen sowie zu Einsparungen von Kosten, die bei der Wiederbesetzung von Arbeitsstellen anfallen würden.

Die Vermeidung dieser Kosten führt zu realen Ressourceneinsparungen bei Dritten, sie fallen ausserhalb des persönlichen Nutzens der Fussgängerin oder des Velofahrers an. Sie stellen einen externen Nutzen dar, welcher nicht in die Abwägungen der Langsamverkehrsteilnehmenden einfliesst.

Die Bewertungsmethodik orientiert sich am Vorgehen zur Berechnung der Gesundheitskosten durch Luft- und Lärmbelastung sowie den Unfällen. Es werden dieselben Kostensätze verwendet. Die gewonnenen Lebensjahre und die verhinderten Krankheitsfälle errechnen sich aus dem Ausmass der körperlichen Betätigung im Langsamverkehr und den Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen Bewegung und verschiedenen Krankheitsbildern.

Insgesamt wurden 2016 durch die Aktivitäten im Langsamverkehr 1379 Mio. Fr. externe Nutzen erzeugt. Die Fussgängerinnen und Fussgänger tragen 915 Mio. Fr. (66 %) dazu bei, die Velofahrenden 464 Mio. Fr. (34 %). Zu fahrzeugähnlichen Geräten sind keine Daten zur Berechnung der Gesundheitsnutzen vorhanden.

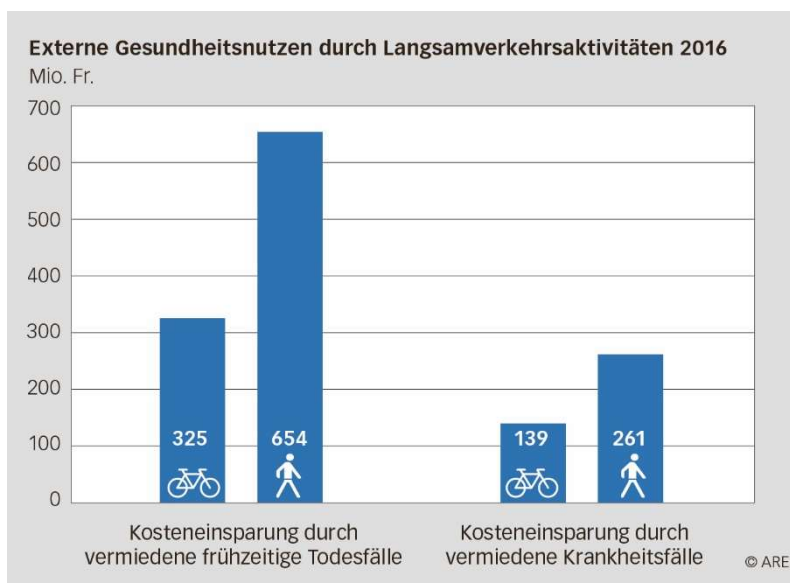


Abbildung 18

### 3.10. Weitere Kosten

#### **Bodenschäden durch toxische Stoffe**

Der Abrieb der Fahrzeugräder verursacht Ablagerungen von Schadstoffen, welche die Bodenqualität beeinträchtigen. Diese Bodenverschmutzungen entstehen entlang von Verkehrswegen und bestehen aus Schwermetallen und polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Sie verursachen relevante externe Kosten.

Die Berechnung dieser Kosten erfolgt anhand eines Reparaturkostenansatzes. Dabei werden die Kosten für die Sanierung der mit Schwermetallen beziehungsweise PAK verschmutzten Böden berechnet. Diese Berechnungsmethodik basiert auf der Überlegung, dass Böden mit einer Schadstoffbelastung oberhalb eines bestimmten Grenzwertes langfristig nicht mehr fruchtbar sind und eine potenzielle Gefährdung für Pflanzen, Tiere und allenfalls auch für Menschen darstellen können. Diese Kosten wurden nur für den Strassen- und Schienenverkehr berechnet, da der Luft- wie auch der Schiffsverkehr als Emittenten der betreffenden Schadstoffe nicht relevant sind.

Im Jahr 2016 betrugen die externen Kosten durch Bodenschäden 173 Mio. Fr. Davon sind dem motorisierten Strassenverkehr 144 Mio. Fr. (83 %) und dem Schienenverkehr die restlichen 29 Mio. Fr. (17 %) zuzurechnen.

#### **Zusatzkosten in städtischen Räumen: Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität**

Aus Sicht Verkehrsträger entstehen in städtischen Räumen durch die Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität externe Kosten. Stark belastete Verkehrsachsen innerhalb von dicht besiedelten Gebieten können zu visuellen Beeinträchtigungen, einer Verminderung der Aufenthaltsqualität sowie generell einer Reduktion der Lebensqualität führen. Letzteres drückt sich in potenziellen Sicherheitsrisiken (gefühlte Sicherheit), Lärm bei Aufenthalt im Freien sowie durch Trennwirkungen aus.

Viele aktuell durchgeführte Aufwertungsprojekte von Ortsdurchfahrten (zum Beispiel im Rahmen der Agglomerationsprogramme des Bundes) zeigen den steigenden Problemdruck auf. Konkret geht es bei diesen Projekten unter anderem um Betriebs- und Gestaltungskonzepte, Massnahmen zur Erhöhung der sicheren Koexistenz zwischen motorisiertem Verkehr und Langsamverkehr, Gestaltung der Fahrbahn sowie um Grünraummassnahmen. Die getätigten Investitionen in solche Aufwertungsprojekte widerspiegeln die politische und gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft zur Reparatur beziehungsweise Verminderung dieser Schäden.

Für die Bewertung der Kosten wird deshalb ein Reparaturkostenansatz verwendet, der auf die realisierten Aufwertungs- und Sanierungsprojekte im Rahmen der Agglomerationsprogramme des Bundes zurückgreift. Dieser Kostensatz wird auf denjenigen Teil des Strassennetzes angewendet, der zu den Hauptverkehrsachsen innerhalb des Siedlungsgebietes gehört und gemäss Verkehrsmodellierung des Bundes mit durchschnittlich 10 000 Fahrzeugen pro Tag und mehr belastet ist.

Die Beeinträchtigung von Ortsbild und Aufenthaltsqualität wurde nur für den Strassenverkehr quantifiziert und belief sich 2016 auf 64 Mio. Fr. Auf Grund der geringen Relevanz und der schwierigen Zuordnung der Kosten wurde auf eine entsprechende Berechnung für den Schienenverkehr verzichtet.

### **Zusatzkosten in städtischen Räumen: Trennwirkungen**

In städtischen Räumen kommt es zudem zu Trennwirkungen, indem für Langsamverkehrsteilnehmende bei der Querung von Strassen und Schienen Wartezeiten entstehen. Diese Zeitverluste werden mit einem Schadenskostenansatz monetarisiert. Die zwei wichtigsten Inputgrössen sind hier die erlittenen Zeitverluste sowie Zeitkostensätze, mit welchen diese Verluste bewertet werden. Für Letztere wird auf die Norm des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS) für Zeitkostensätze im Personenverkehr<sup>13</sup> zurückgegriffen (für das Jahr 2016: 21.0 Fr. pro Stunde für Wartezeiten an Signalen und Barrieren, 15.8 Fr. für Umwege verursacht durch Autobahnen und Gleisfelder).

<sup>13</sup> SN 641 822a (2009)

Aus Sicht Verkehrsträger sind diese Trennwirkungen zwischen Langsamverkehr und motorisiertem Strassenverkehr intern (der Langsamverkehr gehört zum selben Verkehrsträger wie der motorisierte Strassenverkehr), zwischen Langsamverkehr und Schienenverkehr jedoch extern (hier handelt es sich um verschiedene Verkehrsträger). Daher werden aus Sicht Verkehrsträger an dieser Stelle nur externe Kosten für den Schienenverkehr ausgewiesen. Sie belaufen sich für das Jahr 2016 auf 37 Mio. Fr.

## 4. Methodik

### 4.1. Abgrenzungen

#### Abgrenzung der Verkehrsträger

In den Berechnungen werden die Verkehrsträger mit ihren Unterkategorien gemäss folgender Tabelle berücksichtigt.

Verkehrsträger	Verkehrsobjekt	Verkehrsform	Verkehrsmittel
Strasse			
	Personenverkehr	Privater motorisierter Strassenverkehr	Personenwagen
			Gesellschaftswagen (Cars)
			Motorräder
		Langsamverkehr	Motorfahrräder, inkl. E-Bikes <sup>14</sup>
			Fussverkehr
			Velos, inkl. Pedelec <sup>14</sup>
		Öffentlicher Strassenverkehr	Fahrzeugähnliche Geräte
			Autobusse
			Trolleybusse
	Güterverkehr		Trams
			Lieferwagen
			Lastwagen
Sattelschlepper			
Schiene			
	Personenverkehr		
	Güterverkehr		
Luftverkehr			
	Personenverkehr		Linien- und Charterverkehr (Personenanteil)
			General Aviation
			Helikopter
	Güterverkehr		Linien- und Charterverkehr (Frachtanteil)
			Helikopter
Schiff			
	Personenverkehr	Öffentliche Personenschifffahrt	
	Güterverkehr	Güterverkehr auf Schweizer Seen	
		Güterverkehr auf dem Rhein	

<sup>14</sup> Pedelec: Elektrovelo mit einer Motorunterstützung bis 500 Watt (bis 25 km/h), E-Bike: Elektrovelo mit einer Motorunterstützung zwischen 500 und 1000 Watt (bis 45 km/h).

Tabelle 6

#### Thematische Abgrenzung

Insgesamt werden externe Kosten in 12 Schadenskategorien berechnet. Sie decken alle relevanten und aktuell berechenbaren externen Umwelt-, Unfall- und Gesundheitskosten des Verkehrs in der Schweiz ab. Es handelt sich um folgende Kategorien:

- Luftverschmutzungsbedingte
  - Gesundheitsschäden
  - Gebäudeschäden
  - Ernteauffälle
  - Waldschäden
  - Biodiversitätsverluste;
- Lärm;
- Klimaerwärmung;
- Natur- und Landschaftskosten;
- Bodenschäden durch toxische Stoffe;
- Belastungen aus vor- und nachgelagerten Prozessen;
- Unfälle;
- Zusatzkosten in städtischen Räumen.

Ebenfalls quantifiziert werden die externen Gesundheitsnutzen des Langsamverkehrs. Denn für den Langsamverkehr hat eine Studie des BFS und des ARE<sup>15</sup> ergeben, dass neben externen Kosten auch externe Gesundheitsnutzen identifizierbar und monetarisierbar sind.

<sup>15</sup> Ecoplan, ISPMZ (2013), Integration des Langsamverkehrs in die Transportrechnung.



Allgemein ist unbestritten, dass auch der motorisierte Strassenverkehr und der Schienenverkehr bedeutende und vielfältige Nutzen generieren. Umstrittener ist, in welchem Ausmass es sich um *externe* Nutzen handelt. Untersuchungen im Auftrag des ARE und des ASTRA<sup>16</sup> kamen zum Ergebnis, dass es nur sehr wenige als extern zu qualifizierende Nutzen des motorisierten Strassenverkehrs und des Schienenverkehrs gibt. Als Beispiel ist das geringere Leid der Angehörigen zu erwähnen, wenn dank rascherem Notfalltransport ein Unfallopfer gerettet werden kann. Dieser externe Nutzen wird aber als wenig relevant eingeschätzt. Generell lässt sich sagen, dass der grösste Teil des Nutzens des Verkehrs als interner Nutzen direkt bei den Verkehrsteilnehmenden anfällt, wie zum Beispiel Zeitersparnisse und günstigere Transporte. Auf Grund des Wettbewerbs zwischen Firmen werden diese Nutzen teilweise weitergegeben, zum Beispiel an die Kundinnen und Kunden im Einkaufszentrum in Form von günstigeren Lebensmitteln. Dies sind normale marktwirtschaftliche Anpassungsprozesse. Daraus entstehen keine externe Nutzen.

<sup>16</sup> ARE, ASTRA (2006), Die Nutzen des Verkehrs. Synthese der Teilprojekte 1–4.

## 4.2. Grundsätze der Berechnungen

### Vorgehen

Ausgangslage für die Berechnung der externen Effekte bilden die Verkehrsmengen beziehungsweise die Verkehrsleistungen im Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr. Daraus wird die Belastungssituation abgeschätzt. Je nach Schadenskategorie werden für diese Schätzungen Emissionsfunktionen und Daten zur Bebauung, Bevölkerungsdichte etc. verwendet. In einem nächsten Schritt werden die daraus resultierenden Effekte respektive Schäden ermittelt. Dabei handelt es sich je nach Schadenskategorie zum Beispiel um die Zahl der zusätzlichen kranken, verletzten oder getöteten Personen, um die Anzahl lärmbelasteter Wohnungen oder um das Ausmass geschädigter Gebäudeflächen. Um diese Effekte bestimmen zu können, werden Belastungs-Wirkungs-Beziehungen, Krankheitshäufigkeiten in der Bevölkerung, Dunkelziffern im Unfallgeschehen und weitere Grundlagen verwendet. Schliesslich werden die Schäden in Geldeinheiten quantifiziert. Dazu werden je nach Schadenskategorie spezifische Kostensätze pro Unfall, Krankheits- beziehungsweise Todesfall oder Mietzinsausfälle pro Dezibel Lärm (dB(A)) verwendet und mit den ermittelten Schäden verknüpft.

Um die internationale Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erleichtern werden sämtliche Kostenberechnungen auf der Basis von Faktorpreisen (Preise ohne indirekte Steuern wie zum Beispiel Mehrwertsteuer) vorgenommen.

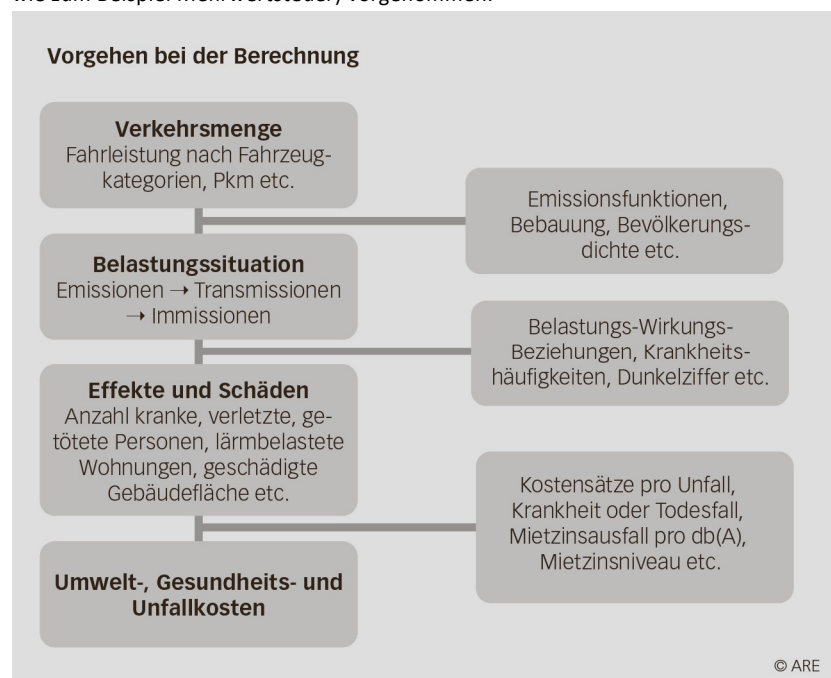


Abbildung 19

### 4.3. Bewertungsmethoden

In erster Priorität wird die Bewertung anhand von Preisen vorgenommen, die auf Märkten beobachtbar sind, da diese die Knappheit der verbrauchten Ressourcen beziehungsweise die Wertschätzung der Gesellschaft für ein bestimmtes Gut grundsätzlich am besten reflektieren. Liegen keine direkt beobachtbaren Marktpreise vor – was im Fall von Umweltgütern oder Lebensqualität oft der Fall ist – werden für die Berechnungen folgende Bewertungsmethoden eingesetzt:

- **Reparaturkosten- oder Ersatzkosten-Ansatz:** Bei diesem Ansatz werden die Kosten von Massnahmen ermittelt, die den entstandenen Schaden reparieren oder das beschädigte Gut ersetzen. Dieser Ansatz wird beispielsweise beim Schadensbereich Natur und Landschaft verwendet.
- **Vermeidungskosten-Ansatz:** Bei diesem Ansatz wird quantifiziert, wie teuer es wäre, den Schaden zu vermeiden. Dieser Ansatz wird in der Schadenskategorie Klima angewendet.
- **Schadenskosten-Ansatz:** Bei diesem Ansatz wird der entstehende Schaden abgeschätzt, beispielsweise in den Schadenskategorien Luftverschmutzung oder Unfälle. Liegen für Schadenskosten keine Marktpreise vor, so müssen andere Methoden angewendet werden, um Preise zu ermitteln. Eine besteht darin, mit Befragungen der Bevölkerung die Zahlungsbereitschaft für bestimmte Güter zu erfahren. Darauf basiert beispielsweise die Berechnung der immateriellen Kosten im Bereich der menschlichen Gesundheit (siehe nachfolgenden Kasten).

#### Immaterielle Kosten und der Value of Statistical Life (VOSL)

Durch die Mobilität entstehen auch Schäden, welchen keine Geldflüsse zu Grunde liegen. Bei der menschlichen Gesundheit handelt es sich dabei beispielsweise um das Leid von Betroffenen oder Angehörigen infolge von Tod oder Invalidität nach einem Verkehrsunfall. Oder es kann der Verlust an Lebensqualität sein, wenn eine Person unter chronischer Bronchitis leidet, welche durch Luftverschmutzung verursacht wurde. Wie diese Schäden zu quantifizieren sind, respektive wie hoch diese sogenannten **immateriellen Kosten** ausfallen, kann nicht aus Marktpreisen abgeleitet werden, da es keine Märkte für diese «Güter» gibt.

Für die Bewertung von Lebensqualität, Gesundheit respektive deren Beeinträchtigung und insbesondere für die Bewertung des Verlustes eines Menschenlebens sind Zahlungsbereitschaftsstudien am gebräuchlichsten und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Diese Studien werden gemäss der sogenannten stated preference-Methode erstellt: Um die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung zur Verhinderung eines Todesfalls zu eruieren, werden Befragungen durchgeführt. Dabei geht es beispielsweise um die Frage, wie viel Geld in die Sanierung von neuralgischen Unfallstellen investiert werden soll, um die Unfallhäufigkeit und damit das Todesfallrisiko zu vermindern. Die befragte Person wählt die aus ihrer Sicht optimale Kombination der Anzahl zu sanierender Unfallstellen und der von ihr zu übernehmenden zusätzlichen Kosten (zum Beispiel etwas höhere jährlich zu bezahlende Steuern). Dabei handelt es sich immer um eine *kleine* Reduktion des Todesfallrisikos und um *kleine* finanzielle Beträge für den Einzelnen. Damit wird die Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Risikos eines Todesfalls ermittelt. Wird nun der durchschnittliche finanzielle Beitrag des Einzelnen für die kleine Risikoreduktion auf einen Todesfall hochgerechnet (das entspricht 100 Prozent), ergibt das den sogenannten **Wert des statistischen Lebens** respektive den **Value of Statistical Life (VOSL)**. Der VOSL entspricht somit dem Wert, den die Gesellschaft zu zahlen bereit ist, um einen Todesfall zu verhindern.

Aus ihm wird auch abgeleitet, wie hoch ein verlorenes Lebensjahr zu bewerten ist. Basierend auf zusätzlichen, spezifischen Zahlungsbereitschaftsstudien wurden zudem die immateriellen Kostensätze für Verletzungen und Krankheiten hergeleitet. Aus einer Metastudie der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD) wurde für die Schweiz für das Jahr 2015 ein VOSL-Wert von 6,5 Millionen Franken ermittelt<sup>17</sup>. Dieser Wert wird in den vorliegenden Berechnungen auf 2016 hochgerechnet (ergibt 6.6 Millionen Franken) und als mittlerer Wert verwendet. Um den Unsicherheiten bei der Ermittlung des VOSL Rechnung zu tragen, wird zusätzlich ein 50 Prozent tieferer respektive ein 50 Prozent höherer VOSL-Wert ausgewiesen. Dies ergibt eine Schwankungsbreite des VOSL von 3,3 bis 9,9 Millionen Franken.

<sup>17</sup> Ecoplan (2016), Empfehlungen zur Festlegung der Zahlungsbereitschaft für die Verminderung des Unfall- und Gesundheitsrisikos (value of statistical life)

### **Umgang mit Unsicherheiten**

Die Berechnung der externen Effekte kann nicht ohne Annahmen und Vereinfachungen vorgenommen werden. Grundsätzlich wird folgendermassen mit Unsicherheiten umgegangen: Falls ein eindeutiger «best guess» vorliegt, wird dieser Wert verwendet. Ist dies nicht der Fall, beruht der verwendete Wert auf einer vorsichtigen Schätzung («at least»-Ansatz), das heisst überall dort, wo Annahmen zu machen und Vereinfachungen vorzunehmen sind, erfolgen diese so realistisch wie möglich, im Zweifelsfall jedoch im konservativen Sinne. Konkret führt dieses Vorgehen eher zu einer Unter- als einer Überschätzung der tatsächlichen externen Effekte.

### **Nicht berücksichtigte Schadenskategorien**

Generell gilt es festzuhalten, dass mit den heute verfügbaren anerkannten Methoden und Datengrundlagen nur ein Teil der externen Effekte des Verkehrs auf Umwelt und Gesundheit quantifiziert werden kann. So sind zum Beispiel Risiken durch Energiebereitstellung – wie beim Atomstrom – oder Unfallrisiken bei Erdölförderung und -transport, Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes oder Gewässerschäden und Schäden durch Erschütterungen nicht erfasst.

Des Weiteren gibt es praktisch in jeder Kategorie Schäden, die wegen fehlender Quantifizierbarkeit nicht in den Berechnungen berücksichtigt sind. Beispielsweise werden nur Lärmauswirkungen am Wohnort mit einbezogen; doch Lärm führt auch zu Belästigungen in Schutz- und Erholungsgebieten oder an Arbeitsplätzen und in Schulen. Die Luftverschmutzung führt nicht nur an Wohn- und Arbeitsgebäuden zu Schäden, sondern auch an Bau- und Kulturdenkmälern. Es ist aber schwierig, den immateriellen Teil des Wertes dieser Gebäude und Denkmäler zu bestimmen. Deshalb wird hier darauf verzichtet.

Somit stellen die gesamten Berechnungen eher eine Unter- als Überschätzung der effektiven realen externen Auswirkungen des Verkehrs dar.

## **4.4. Internalisierungsbeiträge**

Es wäre volkswirtschaftlich optimal, wenn die externen Effekte des Verkehrs internalisiert würden. Damit würden bei der Abwägung, ob man beispielsweise eine Zug- oder Autofahrt unternehmen will, alle Kosten und Nutzen einbezogen. Dies geschieht aber nur, wenn sich die externen Kosten und Nutzen auch im Preis der Mobilität widerspiegeln. Im Schweizer Verkehrssystem wurden in den vorliegenden Berichtsjahren folgende Massnahmen angewendet, um einen Teil der externen Kosten zu internalisieren:

- Luftverkehr: Emissionsabhängige Landegebühr (und bis 2014: sogenannter «Lärmfünfliber» am Flughafen Zürich);
- Strassen- und Schienenverkehr (Bau von Infrastrukturen): Ersatzmassnahmen für den Naturschutz und ökologischer Ausgleich;
- Schwerverkehr: LSVA;
- Kompensation CO<sub>2</sub>-Ausstoss: Bis 2012 wurde der Klimarappen erhoben (Strassen-, Schienen- und Schiffsverkehr); seit 2013 gibt es CO<sub>2</sub>-Kompensationsleistungen der Importeure von fossilen Treibstoffen (Strassen-, Schienen-, Schiffs- und inländischer Luftverkehr) sowie Sanktionszahlungen der Importeure bei Überschreitung der CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für Personenwagen;
- Unfallkosten: Verursachergerechte Versicherungsleistungen.

Diese Internalisierungsbeiträge wurden in den Berechnungen, wo zurechenbar, direkt in Abzug gebracht. Einzig die LSVA wird bei den einzelnen Schadenskategorien in der Detailauswertung nicht in Abzug gebracht, da die Einnahmen der LSVA nicht spezifisch auf einzelne Kategorien zurechenbar sind. Die Höhe des Internalisierungsbeitrags der LSVA wird jedoch in Kapitel «2.2. Gesamte Externe Kosten und Nutzen» (Seite 8) ersichtlich.

## Abkürzungsverzeichnis

AHV	Alters- und Hinterlassenenversicherung
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BFS	Bundesamt für Statistik
dB(A)	Schalldruckpegel in der Einheit Dezibel
fäG	fahrzeugähnliche Geräte (mit Rädern oder Rollen ausgestattete Fortbewegungsmittel, die ausschliesslich durch eigene Körperkraft angetrieben werden, wie beispielsweise Inline-Skates, Skateboards und Trottinette)
GV	Güterverkehr (Güterverkehr Strasse, er umfasst Lieferwagen, Lastwagen, Sattelschlepper)
ISPMZ	Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Zürich
KFV	Kosten und Finanzierung des Verkehrs
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LV	Langsamverkehr
Priv. Mot. PV und GV	Privater motorisierter Personen- und Güterverkehr
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pkm	Personenkilometer
PM	Feinstaub (Particulate Matter; PM <sub>10</sub> : Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer)
PV	Personenverkehr
PW	Personenwagen
SN	Schweizer Norm
SVAG	Bundesgesetz über die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
tkm	Tonnenkilometer
VOC	Volatile Organic Compounds (Flüchtige organische Verbindungen)
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute